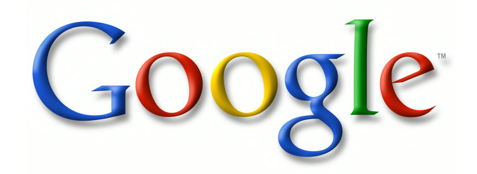
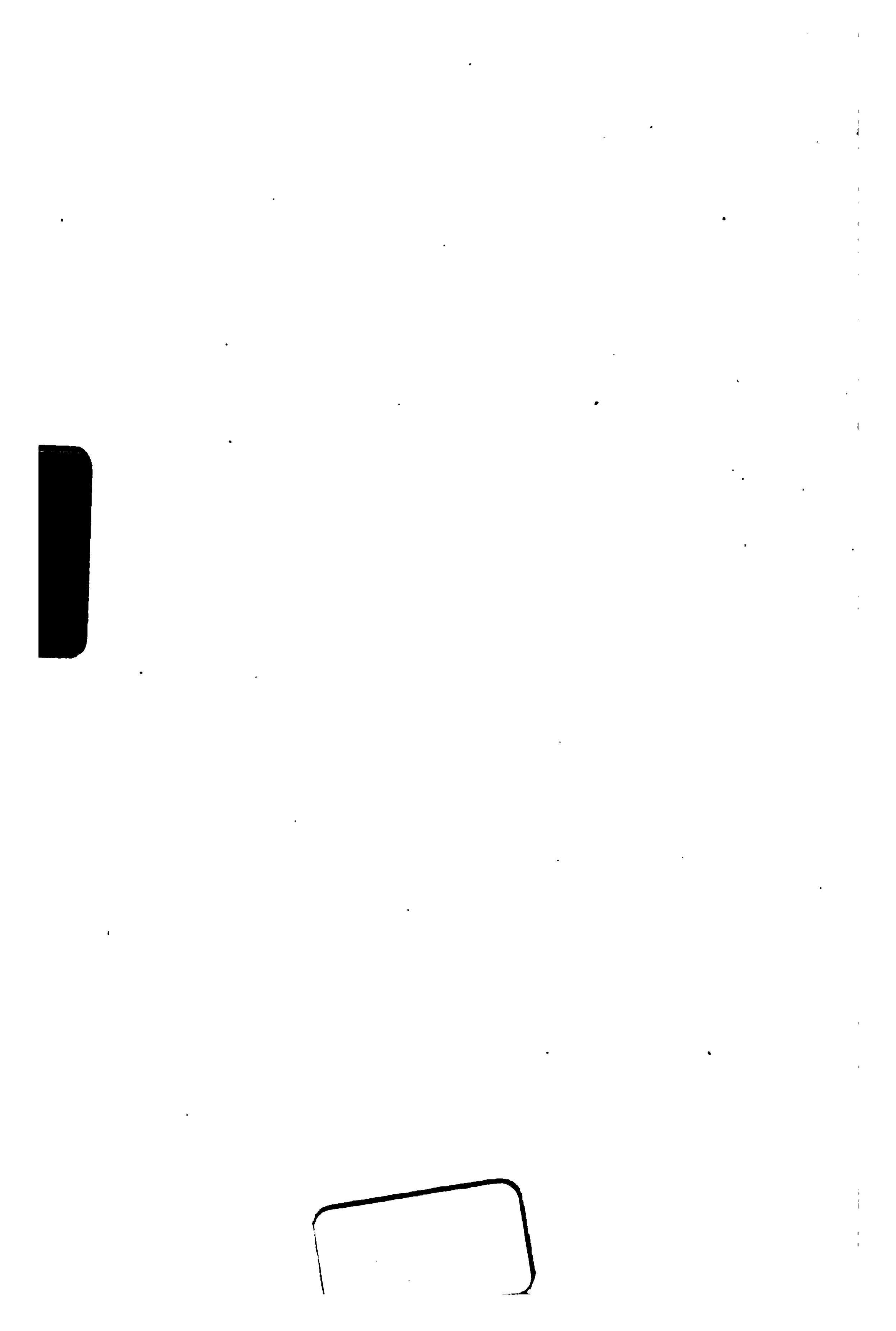
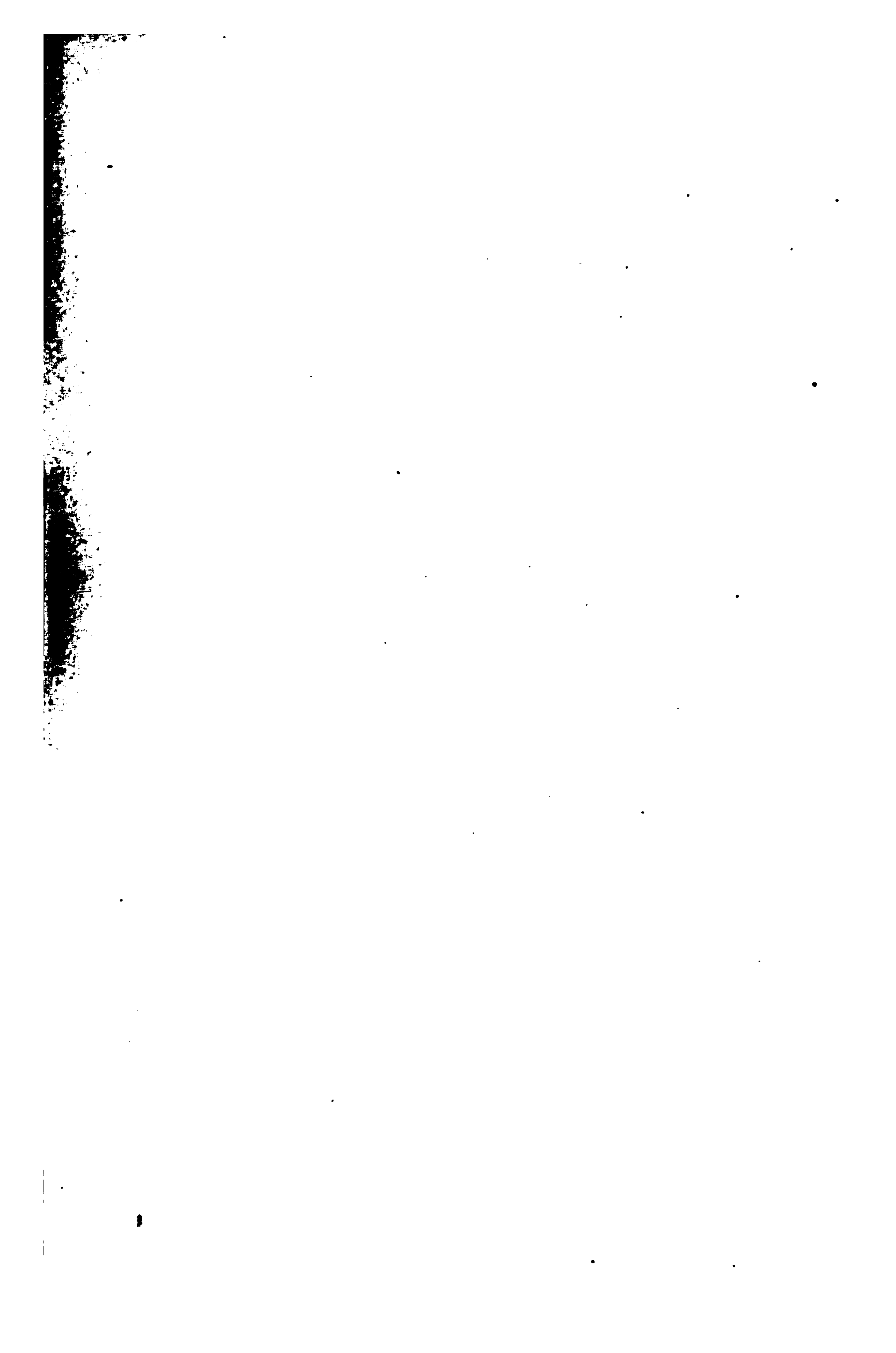
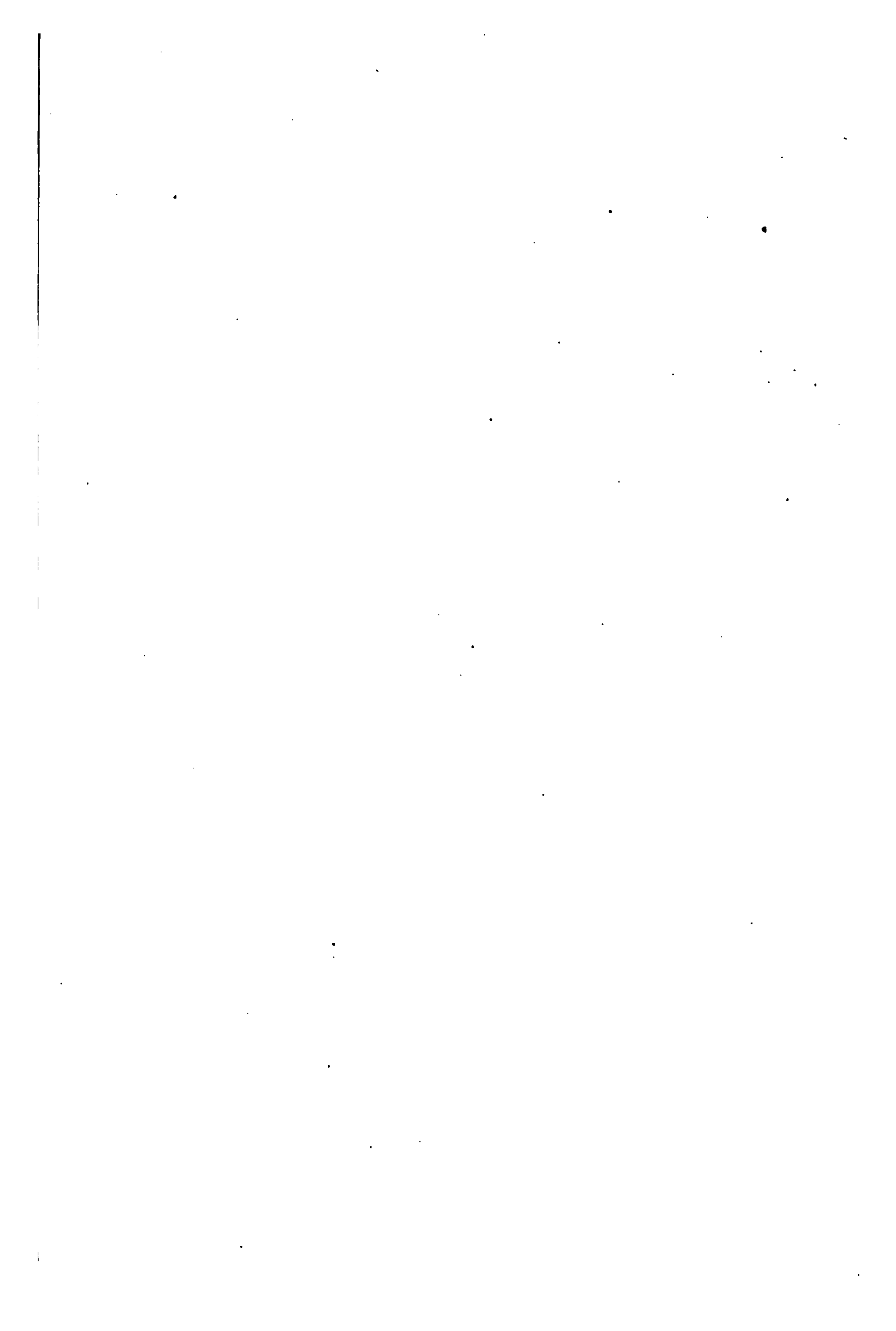








ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

D^R^. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

ACHTUNDNEUNZIGSTER BAND.

MIT 11 TAFELN UND 44 TEXTFIGUREN.

BONN, 1903.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Inhalt.

Erstes und zweites Heft.

Ausgegeben am 29. Juli 1903.

Drittes und viertes Heft.

Ausgegeben am 8. August 1903.

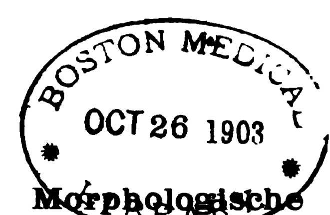
Seite

Fünftes und sechstes Heft.

Ausgegeben am 14. August 1903.

Siebentes und achtes Heft.

Ausgegeben am 25. August 1903.



Morphologische und physiologisch-chemische Untersuchungen über die Pigmente der Lepidopteren.

Von

Dr. **M. Gräfin von Linden** (Bonn).

I.

Die gelben und rothen Farbstoffe der Vanessen.

(Mit 3 Textfiguren und Tafel I.)

Inhaltsübersicht.

Einleitung.

Es ist kein Zufall, der mich bestimmt hat, meine Untersuchungen über die Farbstoffe der Schmetterlinge bei der Tagfaltergattung Vanessa zu beginnen. Einmal schien es mir schon der Beschaffung des nöthigen Materials wegen von Vortheil, meine Aufmerksamkeit dieser bei uns gemeinen Schmetterlingsgruppe zuzuwenden, ganz besonders waren es aber die interessanten Ergebnisse der Temperaturexperimente mit diesen Falterarten, die mich in der Wahl meines Studienobjectes beeinflusst haben. Wie bekannt, sind in den letzten Jahrzehnten von den verschiedensten Forschern Versuche angestellt worden, die über die Abhängigkeit der Zeichnung und Färbung der Schmetterlinge von den Einflüssen ihrer Umgebung, von Wärme und Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit, Nahrung, elektrischer Spannung, Schwerkraft Aufschluss geben sollten (19). Von diesen Experimenten waren namentlich die über die Wirkung erhöhter und erniedrigter Temperatur von den schönsten Erfolgen begleitet. Es ergab sich, dass unter dem Einfluss mässig erhöhter Temperaturen die Schmetterlingspuppen nördlicher Arten in Schmetterlinge südlicher Gegenden umgeprägt werden konnten, und dass umgekehrt südliche Formen, die sich bei niedriger Temperatur entwickelten, Falter ergaben, welche in ihrem Aussehen ihren Verwandten nördlicher Herkunft ähnlich waren. Die Abänderungen, die dabei auftraten, bezogen sich sowohl auf das Colorit wie auf die Zeichnung des Falterkleides. Bei unseren Vanessen wurde durch Wärme eine Vermehrung der rothen und ein Schwinden der braunschwarzen Töne bewirkt, während umgekehrt die Kälte die Entwicklung schwarzer Schuppen begünstigte. Aus diesen Ergebnissen wurde der Schluss gezogen, dass auch in der freien Natur die Artbildung unter dem Einfluss des Klimas stattgefunden habe, indem sich die von Norden nach Süden wandernden Falterarten in der einen Richtung, die von Süden nach Norden verschobenen nach der entgegengesetzten Richtung von der Stammform entfernt und allmählich Eigenthümlichkeiten erworben hatten, die sie heute als Varietäten oder Arten von ihren Verwandten unterscheiden. In den klimatischen Einflüssen wäre damit der Anstoss zur Differenzirung der Schmetterlinge gegeben und der Schlüssel zu den Ursachen der Artbildung gefunden. Diese schönen Resultate veranlassten später die Experimentatoren (19), auch die Einflüsse sehr hoher und sehr niedriger Temperatur auf die Gestaltung der

Schmetterlinge zu studiren. Es ergab sich bei dieser zweiten Versuchsreihe gegen alle Erwartung, dass hohe Wärme- und tiefe Kältegrade keine entgegengesetzten, sondern sehr gleichartige Variationsrichtungen zur Entwicklung brachten. Die nach den ersten Experimenten mit mässiger Wärme und Kälte scheinbar so einfachen Ergebnisse complicirten sich aber auch noch dadurch, dass mit dem neuen Verfahren Formen erzeugt wurden, die in der freien Natur noch gar nicht, oder doch nur äusserst selten, als werthvolle Aberrationen zur Entwicklung gekommen waren.

Es ist also gelungen, was Th. Eimer, der uns in seinen verschiedenen Arbeiten zum ersten Mal die wissenschaftliche Bedeutung eines eingehenden Studiums der Thierzeichnung vor Augen geführt, vor bald zehn Jahren vorausgesagt hat: „Man wird mit dem Thermometer in der Hand neue Arten machen.“ Es ist selbstverständlich, dass diese neuen staunenerregenden Formen in ihrer stammesgeschichtlichen Beziehung die verschiedensten Deutungen erfuhren. Der Eine meinte in ihnen Schmetterlinge der Zukunft, der Andere Repräsentanten der Eiszeit zu finden. Eine zutreffende Erklärung dieser eigenartigen Bildungen ist aber meiner Ansicht nach nicht eher möglich, als bis wir die physiologischen Vorgänge kennen, die beim Schmetterling die Farbenbildung beeinflussen, und über die morphologischen Grundlagen im Klaren sind, welche die Zeichnung der Flügel bedingen. Erst dann, wenn wir wissen, welcher Natur die Farben des normalen Schmetterlings sind, aus welchen Stoffen und unter welchen Bedingungen sie sich aufbauen, erst dann können wir die physiologische Wirkung der Wärme- und Kältereize richtig ermessen und eine Deutung der jetzt noch so räthselhaften Formen wagen. Die richtige Erklärung dürfte sich indessen dann auch von selbst ergeben, denn allen diesen durch Hitze und Frost umgebildeten Schmetterlingen ist eine und dieselbe Entwicklungsrichtung gemeinsam. Bei allen Vanessen besteht das charakteristische Merkmal der extrem aberrativen Falter in einem Verschmelzen der schwarzen Bindenflecke am Vorderrand der Flügel, überhaupt in einer gewaltigen Ausbreitung schwarzer Beschuppung. Diese Uebereinstimmung ist an und für sich leicht zu verstehen, seitdem die Untersuchungen Bachmetjefs (1a) gezeigt haben, dass Hitze und Frost auf den Insectenorganismus physiologisch ganz ähnlich wirken, indem sowohl sehr niedere Temperaturen (unter Null) wie auch hohe (über 40 ° C.) die Schmetterlingspuppe in einen lethargischen

Zustand versetzen, der sich als Wärme- und Kältestarre zu erkennen gibt. Hierdurch wird natürlich die Fragestellung wesentlich vereinfacht. Wir werden, sobald wir über die chemische Natur der Farbstoffe im Klaren sind, zu untersuchen haben: 1. wie mässig erhöhte und mässig erniedrigte Temperaturen die Farbstoffe direct und durch mehr oder weniger gesteigerten Stoffwechsel indirect beeinflussen, und 2. welche Veränderungen der lethargische Zustand in der Natur der Pigmente und der Muttersubstanz hervorbringen kann. Schliesslich bleibt zu ergründen, ob durch die erwähnten Einflüsse nicht auch die Circulation der Körpersäfte, vielleicht sogar die Bahnen der Circulation, gestört werden, denn dass die Zeichnung der Insecten mit der Vertheilung der Blut- und Luftwege zusammenhängt, dass die Pigmente den Bahnen folgen, wo sich der stärkste Stoffwechsel vollzieht, das geht aus meinen Untersuchungen: „Sur le dessin des ailes des Leptidopteres“ (19a) deutlich hervor. Aber wie gesagt, ehe wir an die Lösung dieser Fragen mit Erfolg herantreten können, müssen wir wissen, welcher Natur die Vanessenpigmente sind, und in welcher Beziehung die verschiedenen Farbstoffe zu einander stehen. Dann werden wir aber auch physiologisch begründen können, wesshalb sowohl in der ontogenetischen wie auch in der phylogenetischen Entwicklung der Schmetterlinge eine so ausgesprochene bestimmte Farbenfolge besteht, warum in der individuellen wie in der genetischen Jugend nur hellere Farben auftreten und warum sich erst im persönlichen und Stammesalter die dunkeln Farben, Braun und Schwarz, herausbilden. Ich bin an diese Arbeit, die uns in die Natur und in die Bildungsweise der Schmetterlingsfarben einführen soll, mit dem vollen Bewusstsein der grossen Schwierigkeiten herangetreten, mit denen jede Untersuchung verbunden ist, die sich auf ein Forschungsgebiet erstreckt, auf dem sich fast alle naturwissenschaftlichen Disciplinen die Hand reichen, und auf dem noch sehr wenig gearbeitet worden ist. Der Reiz, in eine solche Terra incognita einzudringen, hat mich indessen vollauf für viele zeitraubende und manchmal scheinbar ergebnisslose Experimente entschädigt, und wenn es mir auch nicht gelungen ist, alle Fragen, die sich mir im Laufe der Untersuchung aufgedrängt haben, zu beantworten, so glaube ich doch Einiges gefunden zu haben, was nicht nur speciell für den Entomologen von Interesse ist, sondern was auch die Aufmerksamkeit des Physiologen erregen dürfte, indem Fragen gestreift werden, die gerade heute durch die Forschungen Küster's und Nencki's über die Be-

ziehungen der pflanzlichen und thierischen Farbstoffe von allgemeiner Bedeutung geworden sind.

Sehr wesentlich wurden diese Untersuchungen durch Bewilligung eines Mikrospectroskops und eines Polarisationsapparates von Seiten der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften in Berlin gefördert, wofür ich ihr meinen verbindlichsten Dank auszusprechen habe. Ebenso bin ich den Herren Prof. Dr. Sommer und Dr. Nerking zu Danke verpflichtet, ersterem für seine liebenswürdige Beihülfe bei den krystallographischen Bestimmungen, letzterem für manchen guten Rathschlag bei der chemischen Untersuchung.

Aeltere Untersuchungen über Lepidopterenpigmente.

Von exacteren Versuchen, die bisher über Lepidopterenpigmente angestellt wurden, sind in erster Linie diejenigen von Gowland Hopkins' (14) und von A. B. Griffiths' (12) zu erwähnen. Dieselben beziehen sich auf die weissen, gelben und grünlichen Pigmente der Pieriden.

Die Flügel der Schmetterlinge wurden von den genannten Forschern erst mit Alkohol und kaltem Wasser behandelt und hierauf mit kochendem Wasser ausgezogen. Die Substanz, welche der opac erscheinenden weissen Farbe der Flügel des Kohlweisslings zu Grunde liegt, löste sich indessen erst unter der Einwirkung verdünnter Alkalien und schied sich auf Säurezusatz in Form rhombischer Krystalle ab, die alle Reactionen der Harnsäure zeigten [1]).

Beim Citronenfalter schied sich das mit kochendem destillirtem Wasser ausgezogene gelbe Pigment beim Erkalten der Lösung als gelbes, amorphes Pulver wieder ab. Das gelbe Pulver erwies sich in Alkalien und in heissem Wasser löslich, unlöslich dagegen in Alkohol, Aether, Chloroform, sowie auch in kaltem Wasser. Die ammoniakalische Lösung wurde durch Ansäuern gefällt und erschien durch ihre grüne Fluorescenz ausgezeichnet, die nach Zusatz von Chlorzink noch an Intensität zunahm. Die Lösungen dieses im trockenen Zustand orangegelben Pigmentes wurden durch Schwer-

---

1) Nach den Untersuchungen Leydig's (18) wird die weisse Farbe der Pieridenschuppen, wie auch die von Liparis salicis, durch kein Pigment, sondern durch Totalreflexion der Lichtstrahlen an der die Schuppen erfüllenden Luftschicht bewirkt. Leydig, Zum feineren Bau der Arthropoden. Arch. f. Anat. u. Phys. 1855 und Pigmente der Hautdecke und der Iris. Verhandlungen der phys.-med. Gesellsch. zu Würzburg N. F. Bd. 22. 1888.

metallsalze gefällt. Der Farbstoff bildete mit den Metallen charakteristische Salze, die in alkalischen Lösungen löslich waren. Die Substanz erwies sich selbst als Säure, sie löste sich unter Zersetzung in concentrirter Salpetersäure, und die beim Eindunsten in typischer Weise auftretende Murexidreaction bewies ihre Zugehörigkeit zur Harnsäurereihe. Dieser gelbe Farbstoff war überdies durch eine sehr charakteristische Reaction ausgezeichnet. Mit 15—20 % Schwefelsäure auf dem Wasserbad erhitzt, verwandelte er sich langsam in ein purpurrothes Product (Lepidoporphyrin), das in Alkohol, Aether und heissem Wasser unlöslich, in concentrirter Schwefelsäure unzersetzt löslich war. Die saure Lösung zeigte zwei Absorptionsstreifen, einen im Grün zwischen *D* und *E* und einen bei *F*. Beim Verdünnen oder Neutralisiren der schwefelsauren Lösung schied sich das Lepidoporphyrin in Form rother Flocken ab. Hopkins analysirte das gelbe Pigment mehrerer Pieridenarten und erhielt annähernd übereinstimmende Werthe. Aus den Mittelzahlen C 38,13 %, H 3,47 %, N 37,11 %, O 21,29 % ergab sich, dass der Farbstoff zur Harnsäuregruppe gehört, und Hopkins ist der Ansicht, dass es sich um eine Verbindung handeln könne, die aus der Harnsäure durch Hydrolyse hervorgeht. Er schreibt diesem Farbstoff eine weite Verbreitung bei den Tagschmetterlingen zu und nennt ihn „Lepidotic Acid“. Ganz ähnliche Untersuchungen sind von Griffiths (12) ebenfalls mit dem grünen Farbstoff verschiedener Schmetterlinge angestellt worden. Nach vorausgegangener Behandlung mit heissem Wasser und Aether wurden die Schmetterlingsflügel mit angesäuertem Wasser ausgekocht. Beim Einengen der Extractionsflüssigkeit schied sich der grüne Farbstoff als amorphe Masse ab. Die Analyse derselben sowie eines in seideglänzenden Nadeln krystallisirenden Silbersalzes führte zur Formel: $C_{11}H_{12}N_8O_{10}$. Bei langandauerndem Kochen mit Salzsäure soll die Umwandlung in Harnsäure nach der Gleichung erfolgen: $C_{11}H_{12}N_8O_{10} = 2\ C_5H_4N_4O_3 + CO_2 + 2\ H_2O$. Es scheint mir nicht überflüssig, an dieser Stelle einer Untersuchung Urech's (29) Erwähnung zu thun, die sich ebenfalls mit dem grünen Farbstoff der Pieridenflügel (Pieris brassicae) dem Kohlweissling beschäftigt und deren Ergebnisse nicht vollkommen mit den Untersuchungsresultaten Hopkins' und Griffiths' übereinstimmen. Urech beobachtete, dass der entschuppte Puppenflügel von P. brassicae ein Pigment enthielt, das dem noch durchsichtigen Flügelchen eine grünlichblaue Färbung verlieh.

Das ältere Puppenflügelchen erschien durch denselben Farbstoff smaragdgrün gefärbt mit Ausnahme des Geäders. Dieser grüne Farbstoff des frischen Puppenflügels ist in Wasser leicht löslich. Nach dem Verdunsten des Wassers bleibt eine tiefgrüne häutige Masse zurück, die bei neuem Zusatz von Wasser sich nicht mehr ganz löst, ein verblasster Antheil bleibt zurück. „Demnach scheint es mir," sagt Urech, „dass beim Extrahiren der grüne Farbstoff noch an eine andere Substanz gebunden in Lösung geht und auch durch dickes Filtrirpapier läuft, erst bei wiederholtem Eintrocknen wird dieses unmöglich, möglicher Weise ist sie die Muttersubstanz oder auch nur der Träger des grünen Farbstoffs." Ferner fand Urech, dass bei starkem Erwärmen der Lösung die Farbe verschwindet, ebenso auch in der Kälte bei Zusatz von Alkali, in concentrirter Schwefel- und Salzsäure erhält sie sich dagegen halbe Stunden lang. In concentrirter Salpetersäure geht das grüne Pigment zuerst in Violett, dann in Roth und Gelb über, gleichzeitig wird Gasentwicklung beobachtet. Alkalilösungen verändern die Farbe momentan in schwach Gelb. Urech vertritt nun die Ansicht, dass der erwähnte Farbstoff sehr wahrscheinlich die Muttersubstanz der Schuppenpigmente darstellt, er hält ihn jedoch nicht für identisch mit denselben, auch mit dem Blutfarbstoff der Schmetterlinge glaubt er ihn nicht identificiren zu können. Jedenfalls hält es Urech für durchaus nothwendig, um die Beschaffenheit der Schuppenpigmente kennen zu lernen, dass die Flügel entschuppt und die Schuppen getrennt vom Flügelgewebe extrahirt werden.

In einer weiteren Untersuchung über die Schuppenpigmente von Rhodocera rhamni, dem Citronenfalter, wird von Urech hervorgehoben, dass selbst die Schuppen zwei verschiedene Substanzen enthalten, ein trocken gelblich, gelöst grün erscheinendes Pigment und eine ebenfalls wasserlösliche krümelige Masse.

Wenn auch die Untersuchungen von Urech zu keinem abschliessenden Ergebniss geführt haben, so scheinen sie mir dennoch einwandfrei und mit viel grösserer Vorsicht ausgeführt wie diejenigen von Hopkins und Griffiths. Indem nämlich Hopkins die ganzen Flügel durch alkalische Lösungen extrahirte, mussten auch die harnsauern Salze, welche stets in erheblicher Menge in den Geweben der Puppe und des Schmetterlings abgelagert werden, in Lösung gehen und bei der nachfolgenden Säurebehandlung nothwendiger Weise zur Abscheidung von Harnsäure führen. Es ist

natürlich, dass von der ausgefällten Harnsäure auch der Farbstoff mitgerissen wurde. Hopkins dürfte somit wohl kaum mit einem reinen Farbstoffpräparat zu thun gehabt haben, und desshalb lässt es sich verstehen, dass die Methode, nach welcher Urech gearbeitet hat, zu anderen Resultaten führen musste.

Ganz ähnlich wie Hopkins und Griffiths ist seiner Zeit Fabre (7a) verfahren, der mit roth und gelb gefärbten Geweben verschiedener Insecten die Murexidreaction erhielt und deren Färbung ebenfalls auf die Gegenwart von Harnsäure zurückführte, ohne zu untersuchen, ob nicht der Farbstoff einen von der Harnsäure chemisch verschiedenen Körper darstellt und nur auf dieser oder ihren Salzen niedergeschlagen war. Eine solche mechanische Beimengung beobachtet man thatsächlich sehr häufig, und es ist mir selbst auch nur durch wiederholtes Lösen in Wasser und Ausfällen des Farbstoffs durch Alkohol gelungen, ein Präparat zu erhalten, das von Harnsäure einigermaassen frei war.

Ueber die Löslichkeitsverhältnisse der Schmetterlingspigmente sowie über ihr Verhalten gegenüber verschiedenen Säuren und Basen sind von Coste (6) und Urech eingehendere Untersuchungen angestellt worden. Wenn hierdurch auch unsere Kenntniss der chemischen Constitution der Farbstoffe nicht wesentlich erweitert worden ist, so haben sie doch dazu beigetragen, zu einer schärferen Trennung der auf mechanischem und der auf chemischem Wege erzeugten Schmetterlingsfarben zu führen.

Ueber Herkunft und Bedeutung der Farbstoffe der Lepidopteren sind recht verschiedene Ansichten ausgesprochen worden.

Am meisten verbreitet ist wohl die Anschauung, welche die Farbstoffe als Auswurfstoffe betrachtet, die, wie die Harnsäure, auf synthetischem Wege im Organismus erzeugt werden. Unterstützt wurde diese Ansicht auch noch dadurch, dass sowohl Hopkins wie Urech die auffallende Uebereinstimmung in der Färbung der Schmetterlingsexcremente und der Schuppen beobachtet hatten. Urech nennt diese Uebereinstimmung keine zufällige und nimmt an, dass zwischen beiden Farbstoffen ein physiologischer Zusammenhang bestehe. Eine Betheiligung des Chlorophylls der Nahrung an der Bildung der Pigmente hält er für vollkommen ausgeschlossen, da dasselbe seiner Ansicht nach von der Raupe unverändert wieder ausgeschieden werde. Er nimmt an, dass nur farblose oder weisse chemische Verbindungen verdaut werden, und dass die Farbstoffe,

die in den Schuppen und malpighischen Gefässen des Schmetterlings erscheinen und als Auswurfstoffe bezeichnet werden, entweder als analytische oder als synthetische Umwandlungsproducte der Nahrungsmittel anzusehen seien. „Von den chemischen Farbstoffen der Schmetterlingsschuppen," sagt Urech weiter, „ist vorauszusetzen, dass ihre Grundsubstanzen (Chromogene) vom Blutstrom herbeigeführt werden, etwa so, wie es Krukenberg vom Cariosulfurin der Vogelfedern voraussetzt." Also nicht die verschiedenen Farbstoffe werden nach seiner Meinung von einem gemeinsamen Bildungsherd aus einerseits in die malpighischen Gefässe, andererseits in die Schuppen geschleppt, sondern es sollen sich aus demselben Chromogen an den beiden Endstationen (Harn und Schuppen) die hier auftretenden Farbstoffe differenziren. Hierbei ist anzunehmen, dass das Chromogen auf den verschiedenen Wegen auch verschiedenen Einwirkungen ausgesetzt wird und desshalb nicht immer in derselben Nuance erscheint.

Ich habe die Ansichten Urech's über die Bildungsweise der Farbstoffe eingehender erörtert, weil sie den ersten Versuch darstellen, die Pigmentbildung im Schmetterlingskörper in ihrer Beziehung zum Stoffwechsel zu verstehen und zu beurtheilen. Gerade das, was wir in den Arbeiten Hopkins' und Griffiths' vermissen, die Frage nach der Entstehung der analysirten Farbstoffe, mit anderen Worten, die anatomisch-physiologische Grundlage der Untersuchung, wird von Urech in erster Linie berücksichtigt, und es ist zu bedauern, dass ihm offenbar zu kleine Quantitäten von Material zur Verfügung standen, um eine genauere chemische Prüfung der Pigmente unternehmen zu können.

Die Untersuchungen, die von zoologischer Seite gemacht worden sind und uns mit der Beschaffenheit und Bildungsweise der Farbstoffe bekannt machen sollten, haben auch noch Vieles zu thun übrig gelassen. Zu erwähnen sind die rein histologischen Arbeiten von A. G. Mayer (20) und Friedmann (9), die Beide zu der Annahme kamen, dass die Schuppenpigmente zuerst im Blut der Puppe enthalten sind. Während aber A. G. Mayer der Meinung ist, dass sämmtliche Schuppenfarben auf einer Umwandlung der die Schuppen erfüllenden Hämolymphe beruhen, die auch künstlich durch chemische Reagenzien hervorgerufen werden kann, stellt Friedmann die Behauptung auf, dass die Vorstufen der Schuppenpigmente der Vanessen fettartige Körper seien, die zuerst die Blutzellen dicht

erfüllen und aus diesen in das Epithel speciell in die Schuppenmutterzellen hineingelangen. Bei diesem Uebertritt in das Epithel spiele, meint Friedmann, vielleicht die amöboïde Fähigkeit der Blutkörperchen eine Rolle, oder aber, es könnten die fettartigen Vorstufen der Farbstoffe in gelöstem Zustand, als Seifen, in das Epithel hineingelangen, um sich erst dort als geformte Fettkügelchen abzuscheiden.

Den tiefsten Einblick in die Entstehungsweise der Insectenfarbstoffe haben wir ohne Zweifel durch die Experimente Poulton's (23) erhalten. Dieser Forscher hat nicht nur mittelst des Spectroskops gezeigt, dass in dem Blut sehr vieler Insecten, namentlich aber in dem einer Reihe von Schmetterlingsraupen und Schmetterlingen, Chlorophyll in mehr oder weniger veränderter Form enthalten ist, er hat auch durch den Versuch unzweideutig bewiesen, dass in der Schmetterlingsraupe die grünen und braunen Pigmente nur dann zur Ausbildung kommen, wenn der Raupe chlorophyll- oder etiolinhaltige Nahrung gereicht wird. Damit aber hat Poulton die Thatsache ausser allen Zweifel gestellt, dass eine enge Beziehung besteht zwischen den Farbstoffen der Raupennahrung und den Pigmenten der Raupenhaut. Könnte nun diese bei der Raupe gemachte Erfahrung wohl auch auf den Schmetterling und seine Farbstoffe Anwendung finden? Die Farben erscheinen hier in den epidermalen Organen, den Schuppen und Haaren, erst am Ende der Puppenruhe, am Ende einer Periode, in der das Insect keinerlei Nahrung zu sich nimmt. Sollten nun die die Schuppen färbenden Substanzen schon durch die Raupe im Körper aufgespeichert werden, um dann, ehe der Schmetterling seiner Hülle entschlüpft, in die Epidermis einzuwandern? Nach den Angaben Urech's, dass alles Chlorophyll schon von der Raupe ausgeschieden werde, dürfte jedenfalls der grüne Pflanzenfarbstoff keine Rolle bei Ausfärbung der Schmetterlingsschuppen spielen. Hiergegen spricht indessen das Ergebniss der spectroskopischen Untersuchungen Poulton's, der Chlorophyll in dem Blut von Schmetterlingen thatsächlich nachgewiesen hat. Auch meine eigenen Untersuchungen machten die Annahme einer Betheiligung der Pflanzenfarbstoffe an der Ausfärbung der Schmetterlinge höchst wahrscheinlich (19 a). Den unzweideutigen Nachweis, dass die Farben, oder doch ein Theil derselben, bei den Lepidopteren umgewandelte Pflanzenpigmente darstellen, konnte ich allerdings damals nicht erbringen. Es fehlten

mir hierzu die nöthigen Anhaltspunkte über die chemische Natur der Farbstoffe und über deren Bedeutung im Haushalt des Organismus. Ausgehend von diesen ersten Beobachtungen habe ich mich bemüht, in der mir durch die gemachten Erfahrungen gewiesenen Richtung weiter zu arbeiten und neben dem morphologischen und physiologischen Verhalten der Pigmente auch ihrer chemischen Natur meine ganze Aufmerksamkeit zuzuwenden.

I. Das morphologische Verhalten der rothen Epidermis-, Darm- und Excrementfarbstoffe der Vanessen.

Die ontogenetische Folge der Pigmente während der Puppenentwicklung unserer Vanessen bestimmte mich, den zuerst auftretenden rothen Schuppenfarbstoff auch als ersten in den Kreis meiner Untersuchungen zu ziehen. Es ergab sich bald, dass dieses Schuppenpigment in sehr naher Beziehung steht zu den Epidermisfarbstoffen der Raupe einerseits, andererseits zu den ebenfalls rothen Pigmenten, welche im Darm der zur Verpuppung sich anschickenden Raupe und im Darm der Puppe selbst, und endlich in den Excrementen des auskriechenden Schmetterlings in grösserer Menge gefunden werden. Bevor ich nun auf die Untersuchungsergebnisse eingehe, die uns über die chemische Natur des Pigmentes orientiren sollen, dürfte es nützlich sein, mitzutheilen, was ich über die Entstehung, die Vertheilung und das Verhalten des rothen Farbstoffs beobachtet habe, solange derselbe noch in den Körpergeweben der Raupe, der Puppe und des Schmetterlings eingeschlossen ist.

1. Der Farbstoff im Körperepithel.

Die Körperfarbe der eben aus dem Ei gekrochenen Raupen von Vanessa urticae und io ist hellgelb; sobald indessen die Räupchen ihre Geburtsstätte verlassen und auf der Rückseite des das Nest bergenden Blattes ihr Nahrungsbedürfniss befriedigen, beobachten wir schon nach kurzer Zeit, dass die hellgelbe Grundfarbe des Raupenkörpers durch rothbraune Flecken marmorirt erscheint. Dieser braunrothe Farbstoff tritt am Vorderende der Räupchen früher auf wie an ihrem Hinterende, so dass Raupen angetroffen werden, bei denen überhaupt nur der Thorax gezeichnet ist. Auf der Raupenhaut beobachten wir in diesem Entwicklungstadium statt der für die Vanessen charakteristischen Dornen vier Reihen in weisse Flecke eingesenkte einfache Haare, so dass die Raupen jetzt

von ihrem späteren Habitus abweichend, den wenig behaarten Pieridenraupen ähnlich sehen. Nach der ersten Häutung entwickelt sich indessen bereits der Typus der Dornenraupe. Die Farbe der Räupchen ist unmittelbar, nachdem sie ihre Hülle abgeworfen haben, hellrothbraun. Der vorher dunkel gefärbte Kopf ist, wie auch später unmittelbar nach der Häutung, weisslich, und ebenso hell erscheinen die Dornen und die Beine. Nach Verlauf eines halben Tages pflegen indessen Kopf, Dornen und Beine die dunkle Chitinfarbe angenommen zu haben, und die Raupe selbst ist jetzt, wenigstens bei Vanessa io, gleichmässig braunschwarz gefärbt, während bei V. urticae meistens jetzt schon eine hellere Rücken- und Seitenzeichnung angedeutet ist.

Wenn wir die Körperhaut einer vor ihrer Verpuppung stehenden Raupe von Vanessa urticae abpräpariren, so finden wir, dass sich unter der dunkelgefärbten, vielleicht schon gelockerten chitinisirten Raupenhaut die neue Epidermis befindet, deren Zellen mit grünlichen, gelblichen und braungelben Farbstoffen erfüllt sind. Auf Schnittpräparaten ist gewöhnlich von dem Vorhandensein dieser Pigmente wenig zu sehen, weil sich dieselben in den verschiedenen Reagenzien, die das Präparat zu durchlaufen hat, mehr oder weniger vollständig auflösen, besonders wenn die Schnitte auch noch mit Wasser auf den Objectträger aufgeklebt wurden. Auf Zupfpräparaten, die am besten frisch in Glyceringelatine eingebettet werden, können wir die Vertheilung der färbenden Substanzen in den Epithelzellen ganz gut studiren. Es empfiehlt sich indessen auch bei den in Glyceringelatine liegenden Hautpräparaten die Untersuchung sofort vorzunehmen, da auch dieses Einbettungsmittel den Farbstoff verhältnissmässig schnell zu verändern pflegt. Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass sowohl der grünliche wie auch der gelbbraune Farbstoff an Körnchen gebunden ist, die die ganze Zelle erfüllen und meistens in dem erweiterten vorderen Theil der Zelle, wo auch der Kern gelegen ist, besonders dicht angehäuft sind. Denselben Befund ergibt die Untersuchung der ganz jungen noch nicht gehäuteten Räupchen. Wenn wir nun eines der jungen Räupchen oder auch eine ältere Raupe in Wasser werfen und dieses bis zum Sieden erhitzen, so sehen wir, dass in demselben Augenblick, wo Muskelstarre eintritt, die Farbe der Raupenhaut von Gelbbraun in leuchtendes Carminroth umschlägt. Unter dem Mikroskop zeigt es sich, dass die Ursache dieses Farbenwechsels in

einer Umwandlung der vorher gelbgrün oder gelbbraun gefärbten Körnchen in carminrothe zu suchen ist. Ausserhalb der Epithelzellen finden sich meist zahlreiche ebenfalls schön carminroth gefärbte kleine Krystallnadeln, die häufig zu dichten Drusen oder Doppelbüscheln gruppirt sind und bei starker Vergrösserung unter dem Mikroskop federförmige Verzweigungen erkennen lassen. In einem der mir vorliegenden Präparate haben sich solche Kryställchen sogar im Innern der Epithelzellen abgeschieden. Aber nicht nur die Epidermiszellen, auch die an die Haut heranreichenden Tracheenstämme und deren feine Endigungen sind von dem rothen Farbstoff vollkommen imprägnirt, ebenso die Endigungen der in der Haut inserirenden Muskeln. In den grösseren Tracheen erscheint die chitinige Auskleidung, der Spiralfaden, diffus gefärbt, der Farbstoff erfüllt aber auch die Zellen der Intima. Bei den feinen Tracheenverzweigungen fand ich die rothen Körnchen nur in den Lumina der Canäle liegen, sie bilden hier rothe Linien die den Verlauf der Endverzweigungen bezeichnen und zu Zellen führen (Tracheenendzellen), deren Plasma ebenfalls Farbstoffkörner enthält. Von den unter dem Epithel gelegenen Zellen des Fettkörpers sind nur die Kerne von dem rothen Pigment umgeben, vielleicht auch davon erfüllt, die in ihrem Plasma enthaltenen Fetttröpfchen sind ungefärbt. Diese ganze Umwandlung der gelben, gelbgrünen oder braungelben Pigmente in den rothen Farbstoff lässt sich sehr leicht unter dem Mikroskop in allen Einzelheiten verfolgen, sobald wir ein Stückchen Raupenhaut auf dem Objectträger in Wasser über der Flamme erhitzen. Wir sehen dann, wie die Granulationen in den Epithelzellen ganz allmählich ihre ursprüngliche Farbe verlieren, und wie sie nach und nach in carminroth gefärbte Körnchen übergehen. Aber auch in der Puppenepidermis der Vanessen bringen hohe Temperaturen ähnliche Veränderungen hervor, merkwürdiger Weise indessen vorzüglich in solchen Puppen, deren Puppenhülle braun gefärbt ist. Die grünen Puppen von Vanessa io zeigen z. B. sehr wenig Neigung, rothe Farbstoffe zu bilden. Ebensowenig ist es mir gelungen, einen Farbenwechsel im Epithelgewebe bei den gleichzeitig mit den Vanessen auf der Brennessel lebenden grünen Raupe eines Wicklers, Botys urticata, zu erzielen. Bei beiden, den grünen Puppen wie Raupen, fehlen offenbar die gelben Vorstufen des rothen Pigmentes, was bei Botys urticata um so weniger erstaunlich ist, da auch später in der Zeichnung dieses kleinen

Schmetterlings keine rothen Farben vorkommen. Bei den ebenfalls grünen oder grüngelben Raupen von Pieris brassicae, dem Kohlweissling, ist der Farbwechsel der gesottenen Raupe fast ebenso auffallend wie bei den Vanessen, aber auch hier verfärben sich die Epithelien hauptsächlich nur unter den dunkel gezeichneten Stellen der Raupenhaut. Die nach dem Erhitzen roth gefärbten Epithelien umgeben bei P. brassicae meist die auf dunkeln Erhebungen der Raupenhaut stehenden Haare und, indem sich die Pigmentirung auch seitlich ausdehnt, fliessen die gerötheten Stellen zu Querstreifen zusammen. Bei der Raupe vom Kohlweissling wird übrigens auch das Gelb in der Hautzeichnung dunkler. Aus allen diesen im Vorhergehenden berichteten Beobachtungen schliesse ich, dass die Bedingungen für die Entstehung des rothen Pigmentes im Epithel dort die günstigsten sind, wo in der Cuticula schwarzbraune Farbstoffe auftreten.

Die Entstehung des rothen Pigmentes kann indessen auch noch auf andere Weise eingeleitet werden. Wird z. B. ein Stückchen Raupen- oder Puppenepidermis in Glyceringelatine eingebettet, so kann manchmal schon nach sechs Stunden der Farbenwechsel eintreten. Das erste Mal wurde ich auf diese Erscheinung aufmerksam, als ich einen gelblichroth gefärbten Puppenflügel einer Vanessa atalanta in Glyceringelatine eingebettet hatte, während der andere Flügel in Canadabalsam eingeschlossen war. Als ich am folgenden Tage die Präparate betrachtete, war der in Glyceringelatine liegende Flügel dunkel carminroth geworden, während der andere seine gelbrothe Färbung beibehalten hatte. Der körnige Farbstoff erfüllte sowohl die Schuppenzellen wie auch die Stützzellen des Flügels und war auch in den Tracheen und in den Flügelrippen enthalten. Seitdem habe ich dasselbe Experiment mit den verschiedensten Schmetterlingen gemacht und immer gefunden, dass die Tracheen und die Flügelrippen besonders zur Bildung rothen Farbstoffes neigen, und dass im Ganzen diejenigen Schmetterlinge, die später am dunkelsten gefärbt sind, auch am meisten rothes Pigment zu bilden vermögen. Also auch hier wieder eine scheinbare Beziehung zwischen der rothen und braunschwarzen Farbe.

In früheren Arbeiten habe ich schon darauf hingewiesen, dass auch trockene Hitze rothe Epidermisfärbung hervorbringen kann. Als z. B. Puppen von Papilio podalirius, dem Segelfalter,

längere Zeit auf einer heissen Ofenplatte gelegen hatten, waren dieselben schön rosa geworden. Dasselbe geschah mit den Puppen von Vanessa urticae, die im vergangenen Sommer in meinem Arbeitszimmer über Mittag den directen Sonnenstrahlen ausgesetzt geblieben waren. Auch wenn wir Puppen durch Chloroformdämpfe tödten, tritt in ihrer Epidermis eine Verwandlung des gelben in rothes Pigment ein. Bekannt ist es ferner jedem Schmetterlingszüchter, dass Puppen, die mit schmarotzenden Insectenlarven inficirt sind, ihren Zustand oft durch intensive Röthung der Puppenhaut zu erkennen geben, und die Untersuchung lehrt, dass sich in diesem Fall der Farbstoff nicht nur in der Epidermis, sondern auch in den Zellen des Fettkörpers entwickelt.

Rothfärbung der Haut ergibt sich ferner, wenn Raupen von Pieris brassicae in absolutem Alkohol conservirt werden, und ebenso wirkt dieses Mittel auf die Epidermispigmente vieler Heuschrecken ein, was ich auch schon an anderer Stelle besprochen habe (19 a). Bei Vanessa urticae und io findet dagegen beim Kochen der Raupen keine Rothfärbung mehr statt, wenn die Thiere längere Zeit unter Alkohol aufbewahrt wurden.

Im Grossen und Ganzen fand ich bei den Vanessen, dass ältere Puppen mehr rothen Farbstoff erzeugten wie jüngere Puppen und wie die Raupen.

Wurden Vanessenraupen zerquetscht, mit Wasser zerrieben und filtrirt und hierauf das Filtrat und der Rückstand auf dem Filter gekocht, so konnte ich keine Bildung von rothem Farbstoff beobachten, wenn auch das Filtrat mit wenig Essigsäure versetzt einen flockigen, gelbrosa gefärbten Niederschlag ergab. Ich schloss daraus, dass das Pigment nur in der lebenden oder absterbenden, aber intacten Zelle hervorgebracht werden könne. Wir haben bis jetzt hauptsächlich die Fälle kennen gelernt, in denen die absterbenden Epidermiszellen rothen Farbstoff produziren, es gibt indessen während der Ontogenese der meisten Schmetterlinge einen Zeitpunkt, wo das rothe Pigment auch normaler Weise gebildet wird und die lebenden Epidermiszellen dicht erfüllt. Schäffer hat es wohl als Erster beobachtet, dass die Schmetterlingspuppen vieler Falterarten während ihrer Entwicklung ein solches „rothes Stadium“ durchlaufen, und fast gleichzeitig wurde dieselbe Erscheinung von van Bemmelen wahrgenommen. Allerdings glaubte

dieser Forscher, die Röthung der Gewebe vollziehe sich erst unter dem Einfluss der atmosphärischen Luft und könne durch Einlegen der Flügel in 90 %igen Alkohol verhindert werden. Ich selbst habe gefunden, dass bei Papilio podalirius (Segelfalter) und bei den meisten unserer Vanessen mit vollem Recht von einem „rothen Stadium" gesprochen werden kann, von einer Röthung der Epidermiszellen, die sich innerhalb der Puppenhülle vollzieht, also ohne dass die Gewebe in directe Berührung mit der äusseren Luft kommen, und die sich häufig schon von aussen durch Rothfärbung der Puppenhülle selbst zu erkennen gibt. Wenn wir einen Schnitt durch das Körperepithel einer solchen Puppe betrachten, so sehen wir, wie die Epithelzellen stellenweise ganz mit den rothen Körnchen erfüllt sind. Neben diesen finden sich Zellgruppen, die ihre gelbgrünliche Färbung beibehalten haben, oder solche, deren Plasma theils gelb, theils roth gefärbt ist. Die gelbgrünen Körner liegen dann stets der Körperoberfläche zunächst, während die rothen Granula vorzugsweise die meist lang ausgezogenen, nach innen gerichteten Zellfortsätze erfüllen. Die roth gefärbten Körner haben innerhalb einer und derselben Zelle die verschiedensten Schattirungen, von Orangeroth, Zinnoberroth bis Carminroth. An die orangerothen Granula schliessen sich dunkelgelb gefärbte an, die durch helleres Gelb zu den grünlichen Farbstoffen der Zellspitze überführen. Wir sehen also, wie die verschiedenen Farbstoffe im Puppenepithel durch zahlreiche Uebergänge mit einander verbunden sind, so dass es schon desshalb nahe liegt, sie als Umwandlungsproducte eines einzigen Mutterpigmentes anzusehen.

Wenn die Puppen von Vanessa urticae, deren Epithel durch siedendes Wasser die rothe Farbe angenommen hatte, längere Zeit trocken der Luft ausgesetzt wurden, so war der rothe Farbstoff bereits im Verlauf von zwei Tagen verschwunden. Statt dessen erschien die Epidermis leuchtend gelb gefärbt, und man beobachtete zahlreiche gelbe fetttropfenartige Gebilde, die aus dem Gewebe ausgetreten zu sein schienen. An denjenigen Stellen der Haut, wo sich vorher am meisten rother Farbstoff angehäuft hatte, lagen jetzt zahlreiche gelbe und gelbbraune Körnchen, und während die den rothen Farbstoff enthaltenden Gewebe vorher sauer reagirt hatten, zeigten sie jetzt neutrale Reaction.

Eine ganz ähnliche Zersetzung erfährt das rothe Pigment durch

Salmiakdämpfe. Wird ein Stück roth gefärbter Raupen- oder Puppenhaut nur ganz kurze Zeit den Dämpfen ausgesetzt, so verwandeln sich die carminrothen Körnchen zuerst in orangegelbe, dann in braungelbe Granula.

Reducirende Mittel, z. B. Ammoniumsulfid, verändern die Farbe des carminrothen Pigmentes nicht. Durch oxydirende Agentien wird es entfärbt und in eine graugrünliche (Wasserstoffsuperoxyd) oder gelbgraue (Kaliumpermanganat und Kaliumferricyanid) Masse verwandelt.

Mit Eisessig und Chlornatrium bis zum Sieden erhitzt, entsteht neben braungefärbten Schollen ein blauer Farbstoff.

Was nun die Löslichkeitsverhältnisse des carminrothen Pigmentes in der Raupen- und Puppenepidermis betrifft, so fand ich, dass dasselbe weder von Alkohol noch von Aether, Chloroform, Benzol oder Xylol merklich angegriffen wurde. Sehr leicht kann es dagegen durch Wasser, besonders durch heisses Wasser, in Lösung übergeführt werden. Auch Glycerin nimmt das Pigment in Lösung auf. Die Farbe der Lösungen ist je nach ihrer Concentration gelb oder rothbraun. Auch der beim ausgefärbten Falter von Vanessa io und urticae in den Flügelschuppen erscheinende mehr rothgelb oder rothbraun gefärbte Farbstoff verhält sich bezüglich seiner Löslichkeit, so lange er noch in den Schuppen enthalten ist, ganz wie das carminrothe Epidermispigment der Puppe und Raupe. Dass dieser Schuppenfarbstoff durch die Einwirkung von Glyceringelatine dieselbe Farbe annimmt wie das gelbe Pigment der Epidermiszellen, habe ich schon in einer früheren Arbeit erwähnt und damals bereits als Beweis für die nahe Verwandtschaft der beiden Pigmente angesehen.

Charakteristisch für die rothen Farbstoffgranula in der Raupen- und Puppenepidermis ist schliesslich ihre grosse Färbbarkeit durch Methylenblau; die vorher rothen Körner färben sich damit blauschwarz und halten die Farbe so fest, dass ich vergeblich ihre Entfärbung durch destillirtes Wasser zu erreichen versuchte.

Die gelben und rothen Pigmente finden sich indessen nicht nur in der Epidermis von Raupe, Puppe und Falter der Vanessen, sie sind auch im Blute dieser Insecten enthalten und krystallisiren in schönen, meist zwiebelroth bis carminroth gefärbten Nadeln oder in klinorhombisch gebauten Plättchen aus, sobald wir einen Tropfen Blutflüssigkeit unter dem Deckglas auf dem Objectträger verdunsten

lassen. Der Farbstoff befindet sich sowohl in der Blutflüssigkeit wie auch in den Blutzellen und wird auch zu grösseren Klumpen zusammengeballt in den im Blut der Puppe schwimmenden Fettzellen beobachtet. Die grösste Menge des rothen Pigmentes finden wir indessen im Darm der sich zur Verpuppung anschickenden Vanessenraupe.

2. Der rothe Darmfarbstoff.

Es ist eine alte Beobachtung, dass der Darm vieler Insectenraupen vor ihrer Verpuppung eine gelb oder roth gefärbte Flüssigkeit enthält, deren Erscheinen zu verschiedenen Deutungen Anlass gegeben hat. Frenzel (8), der in seiner Arbeit: „Einiges über den Mitteldarm der Insecten sowie über Epithelregeneration“ das Auftreten gelber und rother, zum Theil krystallinischer Farbstoffe im Darmlumen vor ihrer Verpuppung stehender Schmetterlingsraupen eingehend behandelt, erklärt sich das Zustandekommen der gefärbten Flüssigkeit durch eine Verflüssigung gelb gefärbter Krümel, die durch die secretorische Thätigkeit der Darmepithelzellen in diesen selbst entstehen sollen. Er nimmt an, dass die gefärbte Flüssigkeit dem Insect als Reservenahrung während der Puppenperiode diene, ohne jedoch seine Ansicht durch einen Beweis stützen zu können. Ueber die chemische Natur des Farbstoffs scheint Frenzel keine Untersuchung angestellt zu haben.

Frenzel's Anschauung über die physiologische Bedeutung des Darmfarbstoffs der vor ihrer Verpuppung stehenden Raupen wurde durch die Untersuchungen Biedermann's (3) glänzend bestätigt. Biedermann fand, dass beim Mehlwurm der braun gefärbte Darminhalt hauptsächlich aus den abgestossenen Epithelzellen gebildet war und Proteïnkrystalle enthielt, die in den Darmepithelzellen schon vor deren Zerfall entstanden waren. Er deutet diese Krystalle im Gegensatz zu Frenzel nicht als Secret, sondern, wie krystallinisches Eiweiss im Allgemeinen gedeutet wird, als Reservenahrung. Von secretorischer Natur hält Biedermann nur die dem Darminhalt beigemengte Flüssigkeit und die in ihm enthaltenen verdauenden Enzyme.

Dass es sich auch in dem roth gefärbten Darminhalt der Vanessenraupen und Puppen um Nahrungsmaterial handelt, geht meiner Ansicht nach auch schon daraus hervor, dass sowohl die Schmetterlingsraupen selbst wie auch andere Insecten

die Substanz als Nahrung betrachten und gierig aufnehmen. Wird die rothe Darmflüssigkeit von Vanessenpuppen auf einem Objectträger ausgebreitet und bei Seite gelegt, so kommen sehr bald die Stubenfliegen angeflogen, um den rothen Saft mit grossem Behagen aufzusaugen. Dasselbe thun aber auch die Schmetterlingsraupen, wenn man ihnen dazu Gelegenheit gibt. Ausserdem fand ich, dass bei Puppen, die durch Tachinen inficirt waren, stets die junge Tachina den ganzen rothen Darminhalt aufgefressen hatte und so das für den Schmetterling bestimmte Reservematerial zu ihrer eigenen Entwicklung verwerthete. Im Darm der später verpuppt gefundenen Tachinen hatte die im Schmetterling mehr gelbroth gefärbte Substanz einen ausgesprochenen blaurothen Ton angenommen.

Um das Auftreten der rothen Flüssigkeit im Darm der vor ihrer Verpuppung stehenden Vanessenraupen verstehen zu können, müssen wir den Raupendarm in einer Zeit untersuchen, wo die Raupe noch Nahrung zu sich nimmt. Der Mittel- und Enddarm der Raupe ist zu dieser Zeit von grünen Blatttrümmern ihrer Nahrungspflanze, der Brennessel, prall erfüllt, und der ganze Nahrungsballen wird von einer intensiv grün gefärbten Flüssigkeit durchtränkt. Dieselbe Flüssigkeit erfüllt den Vorderdarm der Raupe und wird von ihr, sobald man sie reizt, durch den Mund ausgeworfen, um allerdings sofort wieder begierig aufgesaugt zu werden. In absolutem Alkohol aufgefangen, bildet sich ein zu Boden sinkendes weissliches Gerinnsel, während der Alkohol den Farbstoff mit grüner Farbe aufnimmt. Mittelst des Spectroskops lassen sich in der frisch bereiteten alkoholischen Farbstofflösung die Bänder des Chlorophylls leicht erkennen, wie der Vergleich mit dem alkoholischen Auszug aus den Blättern der Brennessel unmittelbar ergibt. Die Absorptionsbänder im Spectrum der alkoholischen Raupenauswurflösung waren nur etwas nach dem rothen Ende des Spectrums hin verschoben.

Bleibt ein Tropfen dieses grün gefärbten Auswurfs auf dem Objectträger von einem Deckgläschen bedeckt, einige Zeit stehen, so bilden sich schon nach wenigen Tagen mitten in der grünen Flüssigkeit roth gefärbte Krystalle. Auf einem Trockenpräparat des Auswurfs einer Vanessenraupe, das ich nun schon seit über zwei Jahren aufbewahrt habe, ist das ganze Gesichtsfeld von zierlichen braunen Krystalldrusen erfüllt. Noch viel auffallendere Gebilde entstehen, wenn der ganz frische Auswurf der Raupe mit Eisessig behandelt wird. Es fallen dann kleine braune rhombische

Krystalle aus, die bei hoher Einstellung grünlich schillern und eine täuschende Aehnlichkeit mit Häminkrystallen zeigen. Die Krystallbildung tritt jedoch nicht ein, wenn der Raupenauswurf längere Zeit an der Luft gestanden hat. Die braunen Krystalle werden durch concentrirte Schwefelsäure zum Theil mit lilarother, zum Theil mit grüner Farbe gelöst. Die Häminkrystalle aus Menschenblut erscheinen bei der Lösung durch H_2SO_4 mehr roth wie grün, obgleich die Lösung selbst schliesslich auch grün wird.

Wie der Chlorophyllfarbstoff, so wird auch der grüne Farbstoff des Raupenauswurfs durch die Einwirkung des Lichtes schnell zerstört, die grünen Flecke auf Fliesspapier nehmen besonders, wenn sie directem Sonnenlicht ausgesetzt werden, sehr bald eine schmutzig gelbbraune Farbe an, ein Farbenwechsel, der unter denselben Verhältnissen auch bei roher Chlorophylllösung beobachtet wird.

Wenn zu der Zeit, in der die Raupe noch Nahrung zu sich nimmt, ihr Darm aufgeschnitten und von Nahrungsüberresten gereinigt in Glycerinegelatine eingelegt wird, so sehen wir unter dem Mikroskop, dass das ganze Mitteldarmepithel und ebenso das Epithel des Enddarmes von grünen Farbstofftröpfchen dicht erfüllt ist. Ab und zu beobachten wir in den Epithelien ausser den grünen Tröpfchen Körnchen oder Krystalle eines grünlich-gelben, gelben oder gelb-rothen Pigmentes.

Betrachten wir ein solches Darmepithel unter dem Spectroskop, so erkennen wir sofort das erste Chlorophyllband im Roth zwischen den Linien B und C (Wellenlänge 650,0 $\mu\mu$) und eine starke Verdunklung, die sich über die weniger brechbare Hälfte des Spectrums von 400,0 $\mu\mu$ — 500,0 $\mu\mu$ erstreckt. Bei guter Beleuchtung löst sich dieser verdunkelte Theil des Spectrums in ein breiteres Absorptionsband, das etwa von 400,0 $\mu\mu$ — 450,0 $\mu\mu$ reicht und in ein schmäleres, das zwischen den Linien C und F, also zwischen 490,0 und 520,0 $\mu\mu$ liegt. Das Spectrum der in das Darmepithel aufgenommenen grünen Flüssigkeit erinnert somit am meisten an die Absorption des Chlorophyllans, eines Zersetzungsproductes des Rohchlorophylls. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass, wenn auch nicht das Chlorophyll als solches, so doch seine Zersetzungsproducte vom Darmepithel der Raupe resorbirt werden, in dieser Form umspült es als grüne Flüssigkeit die Darmtracheen und wird wohl auch vom Blut

aufgenommen, wo seine Gegenwart schon längst durch Poulton (23) spectroskopisch nachgewiesen wurde.

Je näher nun die Raupe der Verpuppung steht, desto zahlreicher werden auch die gelben Einschlüsse der Darmepithelien, während ihr Zellplasma noch immer vom Chlorophyll grün gefärbt erscheint. Ich habe ein solches Stadium abgebildet (Taf. I Fig. 1). Wir sehen zwei durch das Deckglas platt gedrückte Falten des Darmepithels. Der dem Darmlumen abgekehrte Theil der Zellen ist noch grasgrün, während in dem centralen Theil der Zellen längliche orangeroth gefärbte Körper auftreten. Nach dem Lumen des Darmes zu geht die Farbe der Zellen in's Gelbliche über. In demselben Bild zeigt einer im Darmlumen gelegener Blattrest, wie sich gleichzeitig auch in den Pflanzenzellen ganz ähnliche gelbrothe Farbstoffe auf Kosten der Chlorophyllkörper ausbilden.

Oeffnen wir aber die Raupe unmittelbar vor ihrer Verpuppung, so sehen wir, dass ihr Darm statt der alkalisch reagirenden Chlorophylllösung eine zwiebelrothe Flüssigkeit enthält von ausgesprochen saurer Reaction. Wir finden ferner neben Blattüberresten, deren Zellen mehr oder weniger zerfallene Chlorophyllkörper und eine gelbe krümelige Substanz enthalten, abgelöste in der rothen Flüssigkeit flottirende Darmepithelien (Taf. I Fig. 3), die ebenfalls roth pigmentirt sind. Auch die Zellen, welche jetzt noch den Epithelüberzug des Darmes bilden, enthalten, zum Theil wenigstens, rothen Farbstoff. Dieser findet sich, wie die Figur zeigt, besonders in der Umgebung der Kerne (Taf. I Fig. 2), so dass wir Stellen sehen, wo sich die rothen Zellkerne von dem übrigen intensiv grün gefärbten Plasma abheben. Auch jetzt noch ist der grüne Farbstoff in Form von Tröpfchen im Plasma der Zellen enthalten. Das rothe Pigment vermehrt sich indessen immer mehr und nimmt schliesslich den ganzen centralen Theil der Epithelzellen ein, gleichzeitig schwindet der grüne Farbstoff und macht einer mehr gelblichen Färbung des Zellplasmas Platz. Es bildet sich, wie wir aus Taf. I Fig. 3 ersehen, ein ziemlich gleichmässig roth gefärbter Körper, der sich im Innern der Zelle scharf abgegrenzt abhebt und zu dem Zerfall des Zellkernes oder zu dessen Verdrängung an die Wand der Zelle führt. Bei einigen derartig degenerirten Epithelien fand ich als Rest des Kernes einige Körnchen chromatischer Substanz an der Spitze der Zelle. Manchmal hat es sogar den Anschein, als ob der Zellkern selbst sich an der Bildung des rothen Körpers betheiligen würde. In

solchen Fällen sieht man seine chromatische Substanz schwinden, während im Innern des Kernes rothe Körnchen auftreten. Der Kern ist in solchen Zellen derart vergrössert, dass er den ganzen Raum einnimmt, der in anderen Epithelien von dem rothen Körper ausgefüllt wird. Es bleibt schliesslich rings um den rothen Körper, dessen Entstehung grosse Aehnlichkeit mit dem Wachsthum eines Zellparasiten hat, eine dickere oder dünnere Zellwand erhalten, die eine grüngelbliche Färbung beibehält. In dieser Zeit finden wir im Darmlumen statt der vorher grünen Chlorophylllösung eine zwiebelrothe Flüssigkeit, und es erhebt sich die Frage, ob dieselbe als eine Abscheidung der rothen Epithelzellen oder als selbstständiges Umwandlungsproduct der vorher vorhandenen Chlorophylllösung zu betrachten ist, oder aber, ob sie durch Auflösung abgestossener roth gefärbter Epithelien entsteht.

Werden von dem rothen Raupendarm Dauerpräparate angefertigt, so sehen wir auf Schnitten durch den Darm, dass der rothe Körper in den Epithelzellen und ebenso der rothe Darminhalt die Zellen bezw. den Darm nicht mehr prall erfüllt, sondern in eine häutige Masse verwandelt ist, eine Folge der Wasserentziehung. In Glyceringelatine eingebettet, bleiben die Zellgrenzen der Epithelien nicht lange erhalten, nach einiger Zeit verwandelt sich das ganze Darmepithel in eine breiige Masse, während der rothe Farbstoff in schönen Drusen rother Nadeln oder in gelbrothen klinorhombischen Plättchen auskrystallisirt, die denselben Habitus, wenn auch einen anderen mehr rubinrothen Farbenton zeigen wie die Farbstoffkrystalle in der Epidermis. Mit dem Pigment im Blut und im Auswurf der Raupe und Puppe stimmt der Darmfarbstoff auch in Bezug auf seine Färbung überein.

Ausser diesen Farbstoffkrystallen finden wir im Innern vieler Epithelzellen Kryställchen von octoëdrischem Bau, die mich lebhaft an die Proteïnkrystalle in den Darmzellen des Mehlwurms erinnern, deren Genese von Biedermann eingehend studirt worden ist. Früher schon hatten Frenzel, Rengel, van Gehuchten und andere Forscher derartige Gebilde in den völlig ausgewachsenen Darmzellen — wie in den Mutterzellen des Darmepithels — verschiedener Insectenlarven angetroffen und die Reactionen, die Frenzel mit diesen Krystallen angestellt hatte, machten es wahrscheinlich, dass es sich um Proteïnsubstanzen handle. Durch Biedermann ist nun die Zugehörigkeit dieser Gebilde zur Gruppe der Eiweisskörper ausser allen Zweifel gesetzt, und ich glaube annehmen zu

dürfen, dass es sich auch bei den von mir im Epithel der Schmetterlingsraupe beobachteten Einschlüssen um ähnliche Substanzen handelt. Ferner werden wir fragen müssen, ob nicht auch der „rothe Körper" in den Epithelzellen eine Differenzirung ihres Plasmas darstellt, der vielleicht ähnlich wie die „Proteïnklümpchen", welche Biedermann ebenfalls in dem Epithel des Mehlwurmdarmes fand, als Reservenahrung während des Puppenstadiums eine wichtige physiologische Rolle spielt. Jedenfalls tritt auch der „rothe Körper" in den Darmzellen der Raupe nur in ausgewachsenen Epithelien auf, und seine Bildung geht hier mit einer degenerativen Veränderung des Zellkerns und Zellplasmas Hand in Hand. Die morphologischen Veränderungen, welche die Darmzellen der Schmetterlingsraupe vor ihrer Verpuppung erfahren, möchte ich jenen an die Seite stellen, welche die Darmepithelzellen der Vertebraten bei ihrer schleimigen Degeneration durchmachen. Es ist danach vielleicht das Richtigste, den rothen Darminhalt als eine Abscheidung der degenerirten Epithelien aufzufassen, bei der aber jedes Mal die Zelle selbst mit zu Grunde geht, wenigstens der grösste Theil derselben. Ich habe nämlich beobachtet, dass im Darmlumen stets zu dieser Zeit Gebilde gefunden werden, die aus etwas chromatischer Substanz und Plasma bestehen. Diese Ueberreste scheinen mir mit den Ueberresten der Zellkerne der degenerirten rothen Epithelien identisch zu sein, und ich halte es, nach dem, was ich bisher beobachtet habe, nicht für ausgeschlossen, dass, wie de Bruyne[1]) bei den histiolytischen Vorgängen anderer Puppengewebe beschreibt, aus solchen Zellfragmenten wieder neue Zellen gebildet werden. Bezüglich der physiologischen Bedeutung des rothen Darmfarbstoffes schliesse ich mich ganz der Ansicht Biedermann's an, der in dem braunen Darminhalt des Mehlwurms einen Fond von Reservestoffen erblickt, die bei der weiteren Entwicklung des Insectes wichtige Dienste leisten. Dass der im Darm gebildete rothe Farbstoff der Vanessenraupe im Körper der Puppe thatsächlich Verwendung findet, erkennen wir schon daran, dass wir das Pigment sehr bald im Blut, in der Blutflüssigkeit sowie in den Blutzellen, auftreten sehen. Vom Darm aus wird der Farbstoff, wie wir auf Schnittserien verfolgen können (19a, Pl. 20, Fig. 132—134), durch den ganzen Körper verbreitet. Er findet sich zwischen Darm und

1) de Bruyne: Sur l'intervention de la phagocytose dans le développement des invertébrés. t. 56 des Mem. Conronnés et Mém. des savants etrangérs publiès par l'Acad. roy. des scienc. des lett. et des beaux arts d. Belgique. 1897.

Fettkörper, er liegt in den Blutbahnen, die den Fettkörper durchziehen, und sammelt sich schliesslich besonders dicht unter der Epidermis an, und zwar ganz besonders in der Nähe der Stigmen. Hier ist er auch zuerst in den Epithelzellen enthalten, so dass ich eine directe Einwanderung des rothen Farbstoffs in die Epithelzellen angenommen hatte. Seitdem mir aber der Versuch gezeigt hat, dass der rothe Farbstoff auch unmittelbar aus dem grün-gelben der Epithelzellen hervorgehen kann, halte ich es für fraglich, ob wirklich an eine Einwanderung der rothen Modification des Pigmentes gedacht werden darf.

Der Transport des rothen Pigments wird sehr viel durch amöboïde Zellen besorgt. Ich habe auf verschiedenen Zupfpräparaten im Darm der jungen Raupen amöboïde Zellen beobachtet, die bis zu sieben roth gefärbte Epithelien verschlungen hatten. In Taf. I Fig. 4 ist eine solche Zelle abgebildet und nach den verschiedenen Uebergängen, die ich beobachtet habe, zu urtheilen, scheint es mir, dass die Zelle verdaut und dass der Farbstoff in condensirter Form weitertransportirt wird.

Es findet indessen während der Puppenruhe niemals ein vollständiger Verbrauch des rothen Farbstoffes statt, ein Theil wird von dem ausschlüpfenden Schmetterling ausgestossen, während ein anderer Theil im Darm des Schmetterlings, wahrscheinlich als Reservenahrung, verbleibt. Die Untersuchung ergab ferner. dass auch die Geschlechtsorgane eine Menge rothen Farbstoffes enthielten, und bei den weiblichen Schmetterlingen scheint mir sogar die intensive Färbung der Ovarien eine Verminderung des Darmfarbstoffes zu bedingen. Auch das Epithel der Falter ist von rothem Farbstoff erfüllt, währenddem die malpighischen Gefässe nur wenig gefärbte Excretkörner enthalten.

Um zu sehen, welchen Einfluss die Fütterung der Schmetterlinge auf den Verbrauch des Farbstoffes haben würde, verbrachte ich eine Anzahl Schmetterlinge von Vanessa urticae in einen Behälter, in dem eine Schale mit chemisch reiner Traubenzuckerlösung aufgestellt war. Ich beobachtete, dass die gefütterten Schmetterlinge während fünf Tagen fortwährend rothen Farbstoff mit den Excrementen von sich gaben, so dass das Filtrirpapier, das ich auf den Boden des Gefässes gelegt und verschiedene Male gewechselt hatte, immer wieder roth gefleckt erschien. Zuerst glaubte ich es mit einer Neuproduction von Farbstoff unter dem Einfluss der Zuckerfütterung zu thun zu haben, der Controlversuch mit

nicht gefütterten Faltern zeigte indessen, dass ich mich getäuscht hatte, dass es sich bei den gefütterten Thieren nur um eine stärkere Abscheidung des Pigmentes, um eine Ausspülung des Darmes handelt. Der Farbstoff hat die Eigenschaft, sich in Zuckerwasser zu lösen, vermischt sich desshalb mit der zugeführten Nahrungsflüssigkeit und wird mit dem nicht resorbirten Theil derselben abgeschieden, wenn dem Falter Gelegenheit geboten wird, immer neue Nahrung aufzunehmen. Wird der Schmetterling nicht gefüttert, so wird auch nur ganz wenig Farbstoff abgesondert.

3. Der rothe Farbstoff in den Excrementen des ausschlüpfenden Falters.

Die lebhaft gefärbten Entleerungen der ausschlüpfenden Schmetterlinge haben schon längst die Aufmerksamkeit von Forscher und Laie auf sich gezogen. Sie treten in einzelnen Jahren so massenhaft auf, dass sich an diese Erscheinung in früheren Zeiten der Aberglaube des Blutregens geknüpft haben soll. In entomologischen Kreisen wurde den gefärbten Abscheidungen die Bedeutung für den Organismus unnütz gewordener Auswurfstoffe zugeschrieben, und die Thatsache, dass der rothe Darminhalt gewöhnlich gleichzeitig mit harnsauern Salzen vom Falter ausgestossen wird, haben zu der irrigen Vorstellung geführt, es handle sich in dieser Abscheidung um ein Secret der malpighischen Schläuche[1]). Schon Frenzel hat indessen beobachtet, dass der rothe Farbstoff im Darm des Schmetterlings gebildet wird, er war es auch, wie ich bereits hervorgehoben habe, der als Erster den Gedanken aussprach, es könne sich in diesem gefärbten Darminhalt möglicher Weise um eine Art Reservenahrung für das Insect handeln. Auch der Ansicht Urechs', der auf die Aehnlichkeit der Färbung der Schmetterlingsexcremente und der Schmetterlingsschuppen hinwiess, habe ich in der Einleitung Erwähnung gethan, ebenso dessen, dass er sich diese Uebereinstimmung in der Färbung durch die Anwesenheit eines gleichartigen Chromogens in den malpighischen Schläuchen und in den Schuppen erklärt. Aus Urech's Ausführungen geht im Uebrigen hervor, dass auch er dem rothen Farbstoff den Charakter

1) Die Auffassung, dass es sich in den gefärbten Absonderungen der ihrer Puppenhülle entschlüpften Falter um Secretionen der Vasa Malpighi handle, wird auch in v. Fürth, Vergleichende chemische Physiologie der niederen Thiere (G. Fischer, Jena 1903) vertreten.

eines Excretes zuschreibt, das in einem Fall als Auswurf, im anderen als Ablagerung in den Schuppen aus dem Organismus entfernt wird.

Ich selbst habe mich bisher einer bestimmten Deutung der physiologischen Rolle des rothen Darm- und Excrementefarbstoffes enthalten und die Frage offen gelassen, ob es sich hier um ein nützliches oder schädlich gewordenes Product des Stoffwechsels handle. Nach meinen neueren Untersuchungen scheint es mir indessen zweifellos zu sein, dass der Farbstoff ein werthvolles Reservematerial bildet, das ausserdem durch seine grosse Affinität zum Sauerstoff und durch die Art, denselben locker zu binden, auch für die Oxydationsvorgänge im Körper, für die Athmung, nicht ohne Bedeutung sein kann.

Der rothe Excrementefarbstoff wird, wie bereits erwähnt, von dem auskriechenden Schmetterling in gelöster Form abgeschieden. Meistens schlägt er sich auf den harnsauern Concrementen nieder, die gleichzeitig mit ihm ausgeworfen werden. Auf Filtrirpapier aufgefangen, entstehen von einem einzigen Schmetterling von Vanessa urticae rothe Flecken, die Thalergrösse erreichen können. Die Farbe dieser Flecken ist im Centrum am dunkelsten, nach der Peripherie hin hellen sie sich auf, und ihr äusserster Rand pflegt gelb, gelbgrün oder braungrün gefärbt zu sein. Die Menge des abgesonderten Farbstoffs ist bei den einzelnen Vanessenarten recht verschieden. Die stärkste Abscheidung beobachtete ich bei Vanessa urticae und V. atalanta, sehr wenig Pigment enthalten die Excremente von V. io, die auf Filtrirpapier einen kleinen rosa gefärbten Fleck mit grossem gelb oder braungrün gefärbten Hof bilden[1]). Bei Schmetterlingen, die, wie Botys urticata z. B., keinen rothen Darmfarbstoff und auch keinen rothen Epidermisfarbstoff bilden, sind auch die Excremente missfarbig braungrün.

Wird ein Tropfen des Auswurfs von V. urticae oder V. atalanta auf dem Objectträger, bedeckt von einem Deckglas, langsamer Verdunstung ausgesetzt, so bilden sich nach kurzer Zeit roth gefärbte Krystallnadeln, die in Drusen oder federförmig verzweigten Büscheln zusammenstehen. Daneben finden sich klinorhombisch gebaute gelbe oder gelbrothe Platten, somit dieselben Krystallformen, in denen wir den Farbstoff im Darm und in der Epidermis beobachtet haben. Ein grosser Theil des Farbstoffs ist an die excretorischen Producte

1) Auch das Blut der Vanessenpuppen gibt auf Filtrirpapier ähnliche, wenn auch kleinere farbige Flecke, in denen die Farbenfolge der Ringe vollkommen dieselbe ist.

des Schmetterlings gebunden, die aus stark lichtbrechenden Körnchen von harnsaurem Natrium und Kalium bestehen.

Zusammenfassend können wir sagen, dass das rothe oder rothgelbe Vanessenpigment, welches die Grundfärbung der Falterflügel bildet und während der Puppenentwicklung zuerst auftritt, in seinen verschiedenfarbigen Modificationen bereits in allen Körpergeweben der Raupe und Puppe, besonders aber im Epithelgewebe, zu finden ist. Während es im Körperepithel der Raupe meistens in Gestalt gelbgrüner, gelber und braungelber Körnchen angetroffen wird, nimmt es in der Puppenepidermis und in der Epidermis und den Epidermisgebilden des Falters rothe, rothgelbe oder rothbraune Färbungen an. In der Zeit, wo die Vanessenraupe sich zur Verpuppung anschickt, wird der Raupendarm zur Bildungsstätte von rothem Farbstoff. Aus dem von resorbirtem Chlorophyll grün gefärbten Plasma der Darmepithelzellen scheiden sich erst grüngelbe, dann gelbe und rothgelbe Körnchen ab, die anfangs hauptsächlich den Kern der Zelle umgeben. Ausser in pigmentirten Körnchen sehen wir aber auch den Farbstoff im Zellplasma diffus auftreten, so dass der ganze centrale Theil der Zelle in einen roth gefärbten Körper verwandelt wird, der sich von dem peripheren Zellplasma nicht nur durch seine Farbe, sondern auch durch seine verschiedenartige Consistenz abhebt. Bei Schmetterlingsraupen, die keinen rothen Farbstoff bilden, z. B. die Raupen von Botys urticata, vollzieht sich im Darmepithel der vor ihrer Verpuppung stehenden Raupe eine ganz ähnliche degenerative Metamorphose. Es bildet sich in den Darmepithelien ebenfalls ein centraler Körper aus, der sich aber nicht roth färbt, sondern die Farbe des Chlorophyllans beibehält.

Es ist danach anzunehmen, dass bei den Vanessen die Vorstufen des rothen Pigmentes, sowohl im Darm wie in der Haut, gelbgrüne, vom resorbirten Chlorophyll abstammende Farbstoffe sind, die durch den Blutstrom im Körper verbreitet werden. Auf diesem Wege gelangt der Farbstoff auch in die Schuppenmutterzellen und in die Schuppen selbst, wo er sich in gelbrothen Körnchen niederschlägt.

Der Farbstoff ist durch Krystallisationsfähigkeit ausgezeichnet, und die übereinstimmenden Krystallformen des rothen Epidermis-, Darm- und Excrementefarbstoffes lassen darauf schliessen, dass wir es an allen drei Stellen mit einem und demselben Pigment zu thun haben.

Was die physiologische Bedeutung der rothen Vanessenpigmente betrifft, so lässt sich auf Grund ihrer morphologischen Beziehungen nichts Bestimmtes aussagen. Immerhin scheint unter Anderem die Thatsache, dass der rothe Darminhalt der Schmetterlingspuppe von den in ihr parasitisch lebenden Fliegenlarven in den Darm aufgenommen wird, dafür zu sprechen, dass es sich, wie Biedermann für den braunen Darminhalt der Larve des Mehlkäfers nachgewiesen hat, auch hier um Reservestoffe handelt. Eine bestimmte Deutung der Rolle, welcher die Farbstoffe im Organismus der Schmetterlingsraupe, der Puppe und des Schmetterlings spielen, wird indessen dann erst möglich, wenn wir über die chemische Natur der Pigmente im Klaren sein werden.

II. Chemische Untersuchung der rothen Farbstoffe der Vanessen.

Die folgenden Untersuchungen, deren Ergebnisse uns mit der chemischen Natur der rothen Vanessenpigmente bekannt machen sollen, erstrecken sich sowohl auf den Farbstoff, der sich in den Schuppen der Vanessa urticae und io befindet, wie auch auf das rothe Pigment des Darminhalts der ausgewachsenen Vanessenraupe und Puppe und endlich auf die Farbstoffe, die mit den Excrementen von dem ausschlüpfenden Falter ausgeworfen werden.

Um die Farbstoffe in möglichst reiner Form zu erhalten, um namentlich eine Verunreinigung der Lösungen durch harnsaure Salze zu verhindern, wurden die gefärbten Gewebe oder Excremente mit kaltem destillirtem Wasser ausgezogen. Die so erhaltene schwach sauer reagirende Lösung, in der eine Beimengung von Harnsäure oder harnsauren Salzen theoretisch so gut wie ausgeschlossen schien, wurde durch Alkohol gefällt und das Fällungsproduct abermals in kaltem Wasser gelöst. Bei den Lösungen der Excremente und des Darmfarbstoffs genügte schon das vier- bis fünffache Volumen 95 %igen Alkohols, um den Farbstoff ziemlich vollständig niederzuschlagen, der Schuppenfarbstoff liess sich dagegen nicht einmal durch viel höher concentrierten Alkohol ganz ausfällen.

Die zweite wässerige Lösung der Farbstoffe bezw. ihr alkoholisches Fällungsproduct wurde zu den Experimenten verwendet, und

der auf diese Weise erhaltene Farbstoff gab weder Murexidreaction noch beobachtete ich die Bildung von Harnsäurekrystallen, wenn der Lösung des Pigmentes Salzsäure zugesetzt wurde.

Wurden die Farbstoffe, besonders die Excrementefarbstoffe, durch heisses Wasser ausgezogen, so fand ich der Lösung stets harnsaure Salze beigemischt, und obwohl sich diese beim Erkalten der Lösung wieder abscheiden sollen, waren sie nur durch Fällen des Farbstoffes durch Alkohol und nachfolgendes Lösen mit kaltem Wasser von dem Pigment zu trennen. Es scheint mir, dass, wie im Harn der Harnfarbstoff, auch beim Schmetterling die Pigmente dazu beitragen, die harnsauren Salze in Lösung zu erhalten. Neben den Versuchen mit gereinigtem Farbstoff machte ich auch zur Controle solche mit frischen, nicht ausgefällten Lösungen und fand, dass die Ergebnisse der wesentlichsten Reactionen in beiden Fällen dieselben waren. Ferner ergab es sich im Laufe der Untersuchung, dass auch die Pigmente des Pfauenauges denen des kleinen Fuchses in ihrem chemischen Verhalten so ähnlich sind, dass die im Folgenden angeführten Resultate für die rothen Farbstoffe beider Falter gelten können, und dass ich mich nur dort auf den einen oder anderen Schmetterling besonders beziehe, wo eine Unterscheidung durch das Ergebniss der Reaction bedingt ist.

1. Optisches Verhalten der rothen Farbstoffe.

Schon im ersten Theil dieser Arbeit wurde von dem Aussehen der hier in Frage kommenden Pigmente gesprochen. Es ist bereits gesagt, dass der Farbstoff in verschieden gefärbten Modificationen aufzutreten pflegt, und dass diese alle durch zahlreiche Zwischenstufen mit einander verbunden und durch bestimmte Eingriffe sogar in einander übergeführt werden können. Ich habe früher angenommen, dass wir es in dem rothen Pigment der Vanessen mit einem Gemisch von einem rothen und einem gelben Farbstoff zu thun hätten, dass, je nachdem das eine oder andere Pigment vorwiege, die gefärbten Organe mehr röthlich oder gelblich erscheinen. Ich kam zu dieser Annahme hauptsächlich dadurch, weil sich im Darm, wenn die Farbstoffe auskrystallisiren, stets gleichzeitig neben zinnoberrothen nadelförmigen häufig zu Drusen angeordneten Krystallen heller und dunkler gelbe klinorhombische Platten vorfinden. (Taf. I Fig. 7.) Erst wenn man eine grössere Anzahl von Präparaten vergleicht, finden sich Formen, die den Uebergang zwischen beiden

Farbstoffen, sowohl in Krystallform wie im Farbenton, vermitteln, ja, wir sehen sogar nahezu farblose Krystalle neben solchen, die durch ihr leuchtendes Roth sofort in die Augen fallen. Dieselben Färbungsübergänge beobachten wir zwischen den Pigmentkörnchen, die in einer und derselben Epithelzelle angetroffen werden. Einerseits werden diese verschiedenen Farbentöne durch verschiedene Concentration der färbenden Substanz bedingt, andererseits, wie wir aus dem Folgenden ersehen, durch verschiedene Grade der Oxydation einer allen diesen Pigmenten zu Grunde liegenden gleichartigen Muttersubstanz, und so lässt es sich auch verstehen, dass es gelingt, die verschiedenen Farbstoffe in einander überzuführen. Die Farbstoffkrystalle haben die Eigenthümlichkeit, ähnlich wie die Krystalle des Blutfarbstoffes, bei auffallendem Licht anders gefärbt zu sein wie bei durchfallendem. Bei hoher Einstellung erscheinen sie unter dem Mikroskop gelbroth mit einem Stich in's Grünliche, bei tiefer Einstellung sind sie blauroth. Es besteht also hier ein Dichroismus, der lebhaft an denjenigen der Hämoglobinkrystalle erinnert, die bei auffallendem Licht scharlachroth, bei durchfallendem bläulichroth erscheinen. Auch die Doppelbrechung haben sie mit jenen gemeinsam. Die gelbroth gefärbten klinorhombischen Plättchen zeigen ausserdem im polarisirten Licht sehr schöne Interferenzfarben, die den Krystall, je nachdem er dünner oder dicker ist, roth, gelb, grün oder blau erscheinen lassen. Bei den roth gefärbten Krystalldrusen wurden keine Interferenzerscheinungen beobachtet. Das spectroskopische Verhalten ist für die Farbstoffkrystalle ebenfalls charakteristisch. Das Absorptionsspectrum besteht, soviel sich mittelst des Spectraloculars erkennen lässt, aus einer Endabsorption des ultravioletten und violetten Endes, die bis zu den Strahlen der Wellenlänge $\lambda = 450{,}0\ \mu\mu$ reicht, einem breiten Band im Blau und Grün, das sein Maximum bei $\lambda = 500{,}0\ \mu\mu$ hat und bei den dunkel carminroth gefärbten Kryställchen der Epidermis aus einem schmäleren Absorptionsstreifen bei $D\ \lambda = 600{,}0\ \mu\mu$. Ich habe schon erwähnt, dass die Farbstoffkrystalle dem klinorhombischen Systeme angehören, und zwar stellen die gelbrothen Plättchen Flächen dar, die parallel zur Ebene der optischen Achsen gelegen sind, die in die Ebene der optischen Achsen fallen, während in den rothen Krystalldrusen die einzelnen nadelförmig ausgezogenen Krystalle so liegen, dass sie

mit der Achsenebene einen Winkel einschliessen. Bei dem ersteren entsteht daher unter polarisirtem Licht kein Achsenbild, während wir bei den Krystalldrusen ein solches beobachten, das, da offenbar der Winkel der optischen Achsen klein ist, wie z. B. auch beim Glauberit, dem Bild eines optisch einachsigen Körpers auf den ersten Anschein ähnlich sieht.

2. Löslichkeit der rothen Vanessenfarbstoffe.

Coste (6), der über die Löslichkeitsverhältnisse der verschiedensten Schmetterlinge Untersuchungen veröffentlicht hat, gibt an, dass die gelben und rothen Farben sich gegen die von ihm angewandten Lösungsmittel (Salzsäure, Schwefelsäure, Natronlauge, Kalilauge, Ammoniak) sehr verschieden verhalten. Er fand, dass die die helleren Töne erzeugenden Schuppenfarbstoffe leichter in Lösung überzuführen waren wie die den dunkleren Farben zu Grunde liegenden Pigmente. Weniger allgemein gehalten sind die Angaben Urech's (29a), der uns in seiner 1894 erschienenen Arbeit eine sehr übersichtliche tabellarische Zusammenstellung der Löslichkeitsverhältnisse der Schuppenpigmente bei den verschiedensten Schmetterlingen gibt und für die rothen Schuppenfarbstoffe der Vanessen feststellt, dass dieselben leicht durch heisses Wasser extrahirbar seien. Ausserdem führt er an, dass dieselben Pigmente auch durch Salz- und Salpetersäure wie auch mit Ammoniak in Lösung übergehen. Was die Wasserlöslichkeit der rothen Schuppenpigmente betrifft, so kann ich die Angaben Urech's vollkommen bestätigen. Es ist indessen gar nicht nothwendig, heisses Wasser anzuwenden. Auch kaltes Wasser löst sowohl die Farbstoffe der Excremente, des Darmes, der Epidermis bei Raupe und Puppe, als auch endlich die der rothen Schuppen des fertigen Falters, allerdings erfolgt die Lösung viel langsamer als wie mit heissem Wasser. Ich habe nicht finden können, dass bei den Vanessen, wie Coste angibt, die verschiedenen Nuancen der rothen Pigmente sich auch in Bezug auf ihre Löslichkeit wesentlich von einander unterscheiden. Es besteht allerdings ein Unterschied in der Löslichkeit der Schuppen- und Darm- bezw. Excrementepigmente, dieser ist aber mehr dadurch bedingt, dass die Lösungsmittel nur schwer in die Schuppen eindringen und die Farbstoffkörnchen umspülen können. Ausser durch kaltes und heisses Wasser werden die rothen Pigmente der Vanessen auch noch durch

concentrirte Traubenzuckerlösung und durch Glycerin ausgezogen. Absoluter Alkohol löst den rothen Farbstoff gar nicht. Wird Chloroform mit dem Fällungsproduct des Darm-, Excremente- oder Schuppenfarbstoffs geschüttelt, so färbt es sich sehr schnell lichtgelb, ein Zeichen, dass wenigstens ein Theil des Pigmentes chloroformlöslich ist. Löslich ist der Farbstoff ferner in verdünnten Lösungen der Neutralsalze, nicht aber in concentrirten. Gelöst wird das rothe Pigment ausserdem von concentrirten Mineralsäuren. Schwefelsäure löst mit purpurrother Farbe, die Lösung färbt sich nach dem Erhitzen schwarz und lässt nach einigem Stehen schwarze Flocken ausfallen. Salzsäure löst das Pigment mit rothgelber und concentrirte Salpetersäure mit intensiv rother Farbe. Eisessig führt nur einen sehr kleinen Theil des Farbstoffs in Lösung über. Unlöslich fand ich die rothen Vanessenfarbstoffe in Aether, Schwefelkohlenstoff, Benzin, Benzol und Xylol, somit in allen Lösungsmitteln, von denen die Lipochrome leicht aufgenommen werden.

3. Farbenveränderung der wässrigen Pigmentlösungen durch die Einwirkung des Lichtes sowie reducirender und oxydirender Mittel.

Die Farbe der durch Wasser gelösten rothen Schmetterlingspigmente schwankt in concentrirten Lösungen zwischen Rubinroth und Bernsteingelb, in dünnen Lösungen zwischen lichtem Rosa und blassem Gelb. Die rubinrothe Lösung hat eine leicht blaue, die bernsteingelbe Lösung orangegelbe Fluorescenz.

Der durch kaltes Wasser erzielte Auszug des Excrementefarbstoffs und ebenso der des Darmpigmentes ist, frisch bereitet, stets leuchtend rubinroth gefärbt, die frische Lösung des Schuppenfarbstoffs ist mehr gelbroth. Wird die rubinrothe Farbstofflösung bis auf 40° C. erwärmt, so verändert sie ihre Farbe plötzlich, indem sie von Rubinroth in Sherrygelb überschlägt. Nach dem Erkalten kehrt indessen der alte Farbenton zurück, aber der Auszug hat seinen ursprünglichen Glanz, die Farbe ihr Feuer verloren. Eine bernsteingelb gefärbte Lösung erhalten wir natürlich auch, wenn wir von vornherein den Farbstoff durch heisses Wasser lösen, doch werden auch solche Extracte nach dem Erkalten mehr röthlich gefärbt.

Ein ähnlicher Farbenwechsel wie der eben beschriebene tritt ein, wenn der rubinrothe Pigmentauszug längere Zeit 2—3 Tage an

der Luft gestanden hat. Es bildet sich eine rosa gefärbte untere Schicht und eine gelb gefärbte obere Schicht. Auch bei heissen Farbstoffauszügen, die ich in verkorkten Reagenzgläsern aufbewahrt hatte, und die von vornherein bernsteingelb waren, kam es nach einigen Tagen zur Sonderung in eine trübe rosa gefärbte untere Schicht und in eine gelbe wenig hohe obere Schicht; in einem Fall machte sich beim Oeffnen der Korke ein deutlicher Fäulnissgeruch bemerkbar. Bei den in dieser Weise veränderten Auszügen des Darmfarbstoffs beobachtete ich an der überstehenden gelbgefärbten Flüssigkeitsschicht eine sehr deutliche blaue Fluorescenz. Ueber die Verschiedenheiten des Absorptionsspectrums der so differenzirten Auszüge werde ich an einer anderen Stelle berichten.

Noch viel auffallender wie die Scheidung der rothen Pigmentlösung in eine rothe und gelbe Schicht ist die Verfärbung, die ich an Filtrirpapier, durch welches Farbstofflösung filtrirt worden war, beobachtet habe, sobald das Papier unter Wasser aufbewahrt wurde. Der in Stückchen geschnittene Filter, in dem stets ziemlich viel Farbstoff hängen zu bleiben pflegt, war nochmals mit Wasser ausgeschüttelt worden, so dass die einzelnen Schnitzel ganz farblos zu sein schienen. Um auch nicht den letzten Rest von Pigment zu verlieren, liess ich den zerschnittenen Filter noch einige Tage in einem durch einen Glasdeckel verschlossenen Gefäss unter Wasser stehen. Schon nach zwei Tagen hatte sich etwa die untere Hälfte der Papierschnitzel rosa gefärbt, während die obere Lage immer noch farblos war. Es hatte also hier ebenfalls in sehr deutlicher Weise eine Bildung von rosa Farbstoff stattgefunden.

Durch oxydirende Mittel: Wasserstoffsuperoxyd, Ferricyankalium, Chlorwasser, wird die rubinrothe oder bernsteingelbe Lösung zuerst in eine grünlichgelbe oder grünlichgraue verwandelt und schliesslich ganz entfärbt.

Reducirende Mittel: Schwefelammonium, verleihen der rothen Lösung ein glänzend orangegelbes Colorit.

Ganz ähnlich wie oxydirende Agentien wirkt auch der längere Einfluss des Lichtes auf Farbstofflösungen. Um festzustellen, ob bei diesem Ausbleichen mehr die chemischen Strahlen oder die Wärmestrahlen des Sonnenlichtes wirksam seien, machte ich die folgenden Versuche. Zuerst wurde, um ganz allgemein den Einfluss

des Lichtes und der Wärme auf die Pigmentlösungen kennen zu lernen, eine sherrygelb gefärbte Lösung des Schuppenpigmentes von Vanessa urticae in drei gleich grosse Reagenzgläser vertheilt. Die Gläser wurden hierauf fest verschlossen und eines davon dem Sonnenlicht, das andere einer constanten Temperatur von 56° C. im Paraffinofen ausgesetzt. Das dritte Glas wurde zur Controle in einer dunkeln Schublade meines Arbeitstisches aufbewahrt. Jeden Tag wurden die Lösungen mit einander verglichen. Nach sieben Tagen machte sich ein deutlicher Farbenunterschied bemerkbar. Die Veränderungen im Farbenton der Lösungen waren entgegengesetzter Natur. Während die dem grellen Licht ausgesetzte Lösung heller wurde und sich grünlichgelb verfärbt hatte, wurde die Lösung im Paraffinofen erst röthlich, dann rothbräunlich. Noch deutlicher waren die Färbungsunterschiede nach weiteren drei Tagen, nachdem sie also seit zehn Tagen dem Licht und erhöhter Temperatur ausgesetzt gewesen waren. Die im Licht stehende Lösung war gelbgrünlich mit einem deutlichen Stich in's Graugelbe, während der im Paraffinofen befindliche Auszug sich durch sein intensiv braunrothes Aussehen sehr auffallend von der im Dunkeln immer gleich bleibenden sherrygelben Controllösung unterschied. Dieser Farbenwechsel des sich in höherer Temperatur befindlichen Pigmentauszugs ist besonders auch desshalb von grossem Interesse, weil die Veränderung im Farbenton, die wir hier beobachten, identisch ist mit der Verfärbung, wie sie bei Schmetterlingen, gerade bei Vanessen, aufzutreten pflegt, deren Puppen ihre Entwicklung in erhöhter Temperatur durchmachen. Auch die Wärmeformen und die südlichen Varietäten unserer Vanessa urticae zeichnet sich durch eine viel sattere Rothfärbung ihrer Flügel aus, die bisweilen selbst in's Rothbraune übergeht.

Derselbe Versuch wurde mit einer Lösung des Excrementefarbstoffs angestellt, und da das Ergebniss dem vorigen identisch war, so verzichtete ich darauf, das Experiment auch noch mit einem Extract des Darmfarbstoffs zu wiederholen. Dagegen erschien es mir nothwendig, experimentell festzustellen, welcher Theil der vorgegangenen Veränderungen auf Rechnung der Wärmestrahlen zu setzen und welcher dem Einfluss der chemischen Strahlen zuzuschreiben sei. Ich verfertigte mir zu diesem Zweck Hülsen aus bunten Gelatineblättern, die ich so zusammenstellte, dass von der einen nur blaue und violette, von der anderen nur grüne und

blaugrüne, von der dritten nur gelbe und von der vierten nur rothe Strahlen hindurchgelassen wurden. Dieses Verfahren, welches zuerst von Kirschmann[1]) angewendet worden ist, hat mir schon früher, bei einem ähnlichen Versuch, gute Dienste geleistet (19a). In diese Hülsen wurden die gut verschlossenen Reagenzgläser mit einer Lösung des Schuppenfarbstoffs von Vanessa urticae gebracht und das Ganze auf den Fenstersimsen dem Tageslicht, Mittags dem directen Sonnenlicht, ausgesetzt. Ein Glas mit Controllösung wurde wieder im Dunkeln aufbewahrt. Schon nach wenigen Tagen zeigte es sich, dass von den Lösungen, die in farbigen Hülsen dem Licht ausgesetzt waren, nur diejenigen gebleicht erschienen, die sich unter blauem und unter grünem Licht befanden. Die Farben der in der gelben und rothen Hülse sich befindlichen Lösungen waren der im Dunkeln gehaltenen Controllösung noch vollkommen gleich. Der Ende August begonnene Versuch ergab bis Mitte September keine wesentlich verschiedenen Resultate. Von den im Sonnenlicht stehenden Lösungen bleichten am meisten die unter blauen und grünen Hülsen aus, die dem rothen und gelben Licht exponirten Extracte hatten ihre Färbung nur insoweit verändert, als das Roth der Lösungen kräftiger geworden war. Im Anfang October waren die Farbenveränderungen sehr bedeutende geworden, die im weissen Tageslicht und unter blauer und grüner Beleuchtung stehenden Lösungen hatten ein sehr lichtes Graugrüngelb, ungefähr die Farbe verdorrten Grases, angenommen, während sich die in der rothen und gelben Hülse befindlichen Auszüge von der Controllösung nur durch einen hervorstechend röthlichen Ton auszeichneten.

Auch die Farbstofflösung, die ich, um die Wärmewirkung zu prüfen, in den Paraffinofen gestellt hatte, war bis Anfang October in der Wärme stehen geblieben. Ihre Farbe war bis Mitte September immer noch dunkler geworden, aber plötzlich schlug dieselbe wie bei den Lösungen, die dem Licht ausgesetzt gewesen, in's Grüngelbe um. Beim Eindunsten dieser Lösung bildeten sich wieder braunrothe Farbstoffkrystalle.

Wenn wir die Ergebnisse der Belichtungsversuche mit den Befunden der spectralanalytischen Untersuchung vergleichen, so ergibt sich daraus eine sehr schöne Bestätigung der von Wiener (30) auf-

---

1) A. Kirschmann, Philosophische Studien Bd. 6 S. 544.

gestellten Theorie der mechanischen Farbenanpassung. Wiener ist der Ansicht, dass die Körperfarbstoffe der Thiere in gewissem Maasse die Eigenschaften solcher farbenempfänglicher Stoffe besitzen, wie sie für die farbenphotographischen Platten in Verwendung kommen. Die in den photographischen Platten enthaltenen Stoffe haben bekanntlich die Fähigkeit, farbige Verbindungen zu liefern, welche mit der jeweiligen Beleuchtungsfarbe übereinstimmen. Die Erklärung für dieses Verhalten wurde darin gefunden, dass von allen entstehungsfähigen Farbstoffen nur der mit der Beleuchtungsfarbe übereinstimmende bestehen bleiben kann, weil er diese Farbe am besten zurückwirft, während die anderen Farbstoffe, welche die Beleuchtungsfarben absorbiren, zersetzt und verändert werden. Wenn wir das Spectrum des rothen Vanessenfarbstoffs untersuchen, so finden wir bei concentrirten Lösungen eine starke Absorption des Ultraviolett und des Violett (bis 450,0 $\mu\mu$ Wellenlänge), dann eine weniger starke Absorption bis 480,0 $\mu\mu$ und wiederum ein breiteres Absorptionsband im Blaugrün zwischen 470,0 $\mu\mu$ oder 480,0 $\mu\mu$ bis etwa 550,0 $\mu\mu$. Es folgt noch eine Absorption des äussersten Roth, somit in der Region der Wärmestrahlen. Nach der Theorie Wiener's müsste danach bei unserem Schmetterlingsfarbstoff die Belichtung mit violetten, blauen und grünen Strahlen am meisten verändernd wirken, eine Forderung, mit der das Ergebniss des Experimentes vollkommen übereinstimmt.

Ich habe im Vorhergehenden bereits erwähnt, dass Farbenveränderungen der rothen Pigmentlösung auch dann auftreten, wenn wir dieselben mit oxydirenden oder reduzirenden Mitteln behandeln. Durch oxydirende Agentien werden die rothen Lösungen in gelbe oder gelbgrüne verwandelt, und wenn die Oxydation noch weiter geht, vollkommen entfärbt. Es wirken hier, wie wir sehen, in gleicher Weise Ferricyankalium, Chlorwasser, Salpetersäure, Wasserstoffsuperoxyd und Kaliumpermanganat. Durch reducirende Mittel verwandeln sich die rothen, oder aber die durch Oxydation gelb-grünlich gewordenen Lösungen in hochgelbe. Durch Wasserstoffsuperoxyd oder durch eines der anderen oxydirenden Agentien kann der reducirten Flüssigkeit wieder ihre ursprüngliche Farbe zurückgegeben werden, indem ihr der entzogene Sauerstoff wieder zugeführt wird. Reduction und Oxydation erfolgen bei frischen Lösungen des Darm- und Excrementefarb-

stoffes sehr schnell, bei Schuppenfarbstoffauszügen langsamer, ein Zeichen, dass bei jenen der Sauerstoff lockerer gebunden wird wie bei diesen. Die Sauerstoffmengen, die Darm- und Excremententepigment zu binden vermögen, sind recht erheblich; eine Lösung dieser beiden Pigmente, die etwa mittlere Concentration besitzt, entfärbt ungefähr das gleiche Volumen einer Kaliumpermanganatlösung. Die Lösung des Schuppenfarbstoffs bindet etwas weniger Sauerstoff wie die des Darmfarbstoffs.

Es wurde auch schon gesagt, dass die Farbstofflösungen, sobald sie an der Luft stehen, einen gelben oder gelbbraunen Ton annehmen. Dieser Farbenton ist derselbe, der durch Erwärmen entsteht und den eine dem Licht ausgesetzte oder durch oxydirende Mittel behandelte Lösung erhält; die so verfärbten Lösungen verändern sich viel weniger leicht und lassen sich auch schwerer reduciren. Diese Erscheinung erinnert uns an das Verhalten des Blutfarbstoffes. Das mit respiratorischem Sauerstoff beladene Oxyhämoglobin geht unter der Einwirkung des Sauerstoffs der Luft, unter dem Einfluss oxydirender Mittel und durch Erwärmen in Gegenwart von viel Wasser in das viel beständigere, gelb oder gelbbraun gefärbte Methämoglobin über. Es könnte sich nun auch hier die Frage erheben, die für das Methämoglobin sehr verschieden beantwortet wurde: Besteht die Verwandlung des rothen Vanessenpigmentes in gelbes Pigment in einer Sauerstoffaufnahme, oder in einer Umlagerung des vorher lose gebundenen Sauerstoffs zu einer festen Verbindung? Für das Methämoglobin wird das Letztere angenommen; bei den Schmetterlingspigmenten vollziehen sich vielleicht ähnliche Verlagerungen, da auch hier weniger leicht reducirbare Producte entstehen und ein Farbenwechsel, wie beim Hämoglobin, schon bei gelinder Erwärmung eintritt.

Wenn wir einen Strom von Kohlensäure in eine Lösung des Vanessenpigmentes (Excremente- und Darmfarbstoffe) einleiten, so wird die vorher gelbrothe Lösung in kurzer Zeit rosa gefärbt, gleichzeitig trübt sich dieselbe, und wir sehen einen weinrothen Niederschlag zu Boden sinken. Dieser Niederschlag ist im Gegensatz zu der braunrothen oder gelbrothen alkoholischen Fällung auffallend blauroth gefärbt. Die Kohlensäure hat also einmal die Fähigkeit, den Farbstoff aus einer wässrigen Lösung auszufällen, ausserdem aber auch die Eigenthümlichkeit mit dem Farbstoff eine mehr blau nuancirtere Verbindung einzugehen. Lässt man die so veränderte

Lösung einige Stunden ruhig stehen, so bildet sich über dem weinrothen Bodensatz eine Flüssigkeitsschicht, die ausgesprochen grünlich erscheint. Mit Millon'schem Reagens versetzt, färbt sich diese grünliche Flüssigkeit beim Erwärmen rosa. Beim Abkühlen bildet sich ein orangerother Niederschlag, der sich beim Erwärmen auflöst, um beim Erkalten wieder zu erscheinen. Danach darf angenommen werden, dass diese überstehende Flüssigkeitsschicht einen eiweissartigen, jedenfalls einen aromatischen Körper enthält.

Unter dem Mikroskop löst sich der Bodensatz in feine rothgefärbte Körnchen auf, die ein sehr ähnliches Aussehen haben wie die Farbstoffkörnchen in den Epidermiszellen der Puppe oder wie der durch Zusatz von Stock's Reagens in Pigmentlösungen erzielte roth gefärbte Niederschlag. Wird der durch CO_2 gefällte Farbstoff mit der überstehenden Flüssigkeit zum Sieden erwärmt, so löst er sich, wenigstens theilweise, ziemlich rasch wieder auf und färbt die Flüssigkeit hochgelb, ertheilt ihr also eine Farbe, wie sie durch Ammoniumsulfid reducirte Farbstofflösungen annehmen. Ich schliesse hieraus, dass ganz ähnlich wie beim Blutfarbstoff die Kohlensäure den lose gebundenen Sauerstoff des Farbstoffmoleküls verdrängt und an seine Stelle tritt. Der Farbstoff wird unlöslich, erlangt indessen seine Löslichkeit wieder, sobald durch Erhitzen die CO_2 vertrieben wird. Die Lösung hat dann die Farbe des reducirten Farbstoffs, da ihr keine Gelegenheit gegeben war, frischen Sauerstoff zu absorbiren. Dass beim Sieden thatsächlich gebundene CO_2 entweicht, ist daraus ersichtlich, dass ein über die Oeffnung des Reagenzglases gehaltener, in Barytwasser getauchter Glasstab milchige Trübung des Barytwassers zeigt. Bleibt das Fällungsproduct der Kohlensäure längere Zeit im verkorkten Reagenzglas stehen, so verliert der Bodensatz seine blaurothe Farbe und wird braunroth. Das Verhalten des Farbstoffs zur Kohlensäure bestimmte mich, denselben Versuch mit einem Strom von Kohlenoxyd anzustellen. Ich leitete eine grössere Menge Kohlenoxydgas in den farbigen Auszug der Excremente von Vanesse urticae ein, konnte indessen, eigentlich gegen meine Erwartung, keinerlei Veränderung an der pigmentirten Lösung wahrnehmen. Es trat weder Farbenänderung noch Fällung ein, auch fehlte der mit CO behandelten Farbstofflösung die für das CO-haltige Hämoglobin charakteristische Eigenschaft, weniger reductionsfähig zu sein. Es scheint somit, dass das Kohlenoxyd, das mit dem Hämoglobin eine so

charakteristische Verbindung eingeht, für den Schmetterlingsfarbstoff vollkommen indifferent ist. Es lässt sich damit erklären, dass Schmetterlingspuppen mehrere Tage lang in einer Atmosphäre von Leuchtgas leben können, deren Gehalt an CO hinreichend ist, um ein Thier mit hämoglobinhaltigem Blut in kurzer Zeit zu tödten. Am 22. Juli 1901 hatte ich fünf Puppen von V. i o einige Tage vor ihrem Ausschlüpfen (bei einer der Puppen hatten sich bereits die Flügel angefangen zu färben), in ein mit Leuchtgas gefülltes Gefäss gebracht und den Stöpsel des Glases mit heissem Paraffin luftdicht verschlossen. Die Puppen, auch diejenigen, die in ihrer Entwicklung noch weniger weit fortgeschritten waren, färbten sich in der Leuchtgasatmosphäre vollständig aus, starben aber nach etwa 36 Stunden, ohne die Puppenhülle als Falter zu verlassen. Die Flügelfarben waren nicht wesentlich verändert. Unter den schwarz beschuppten Flügelstellen lagen in der Flügelmembran Häufchen von dunkelbraunem Pigment. Der Darminhalt der Puppen erschien nicht wie normal zwiebelroth, sondern gelbbraun, doch ist es fraglich, ob diese Verfärbung auf die Einwirkung des Kohlenoxydgases zurückzuführen ist und nicht vielmehr auf den hohen Feuchtigkeitsgrad der Leuchtgasatmosphäre, der durch die Füllung des Glases unter Wasser bedingt war. Jedenfalls bestätigt die Thatsache, dass die Schmetterlingspuppen in der Leuchtgasatmosphäre so lange leben konnten, um sich ganz auszufärben, die Beobachtung älterer Forscher, nach deren Angaben wirbellose Thiere, deren Blut nicht hämoglobinhaltig ist, von Kohlenoxydgas nicht afficirt werden sollen.

4. Ergebnisse der spectralanalytischen Untersuchung des rothen Vanessenpigmentes.

Zur spectroskopischen Untersuchung wurden sowohl verschiedene concentrirte Lösungen des Darm-, Schuppen- und Excrementefarbstoffs verwendet wie auch der Farbstoff in Substanz, und zwar in seiner amorphen und in seiner krystallinischen Modification.

Die zur Untersuchung dienenden Lösungen waren theils risch, theils aus Farbstoff bereitet, der durch wiederholtes Ausfällen und Wiederauflösen gereinigt worden war. Ausserdem unterzog ich auch den Farbstoff in oxydirter, reducirter, saurer und alkalischer Lösung der spectroskopischen Prüfung. Die Bestimmung der Absorptionsspectren wurde zuerst mittelst des Spectraloculares von Zeiss ausgeführt. Zur Controle dieser subjectiven

Befunde war es mir von grösstem Werth, die wesentlichen Spectra, wenigstens deren grünen bis ultravioletten Theil, photographisch fixiren zu können, wozu mir durch die Liebenswürdigkeit

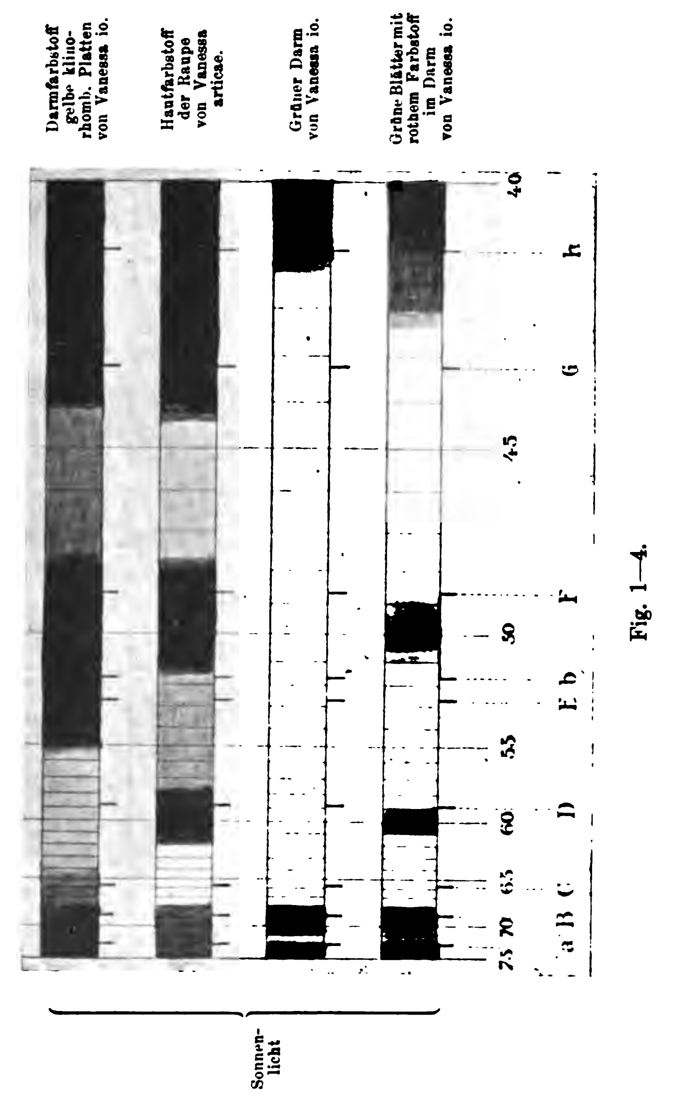


Fig. 1—4.

von Herrn Professor Dr. Kayser im physikalischen Institut der Universität Gelegenheit geboten war. Die Aufnahmen wurden von Herrn Dr. Hagenbach und Herrn Dr. Conen gemacht, wofür ich beiden Herren zu grossem Dank verpflichtet bin. Als Lichtquelle diente bei diesen Aufnahmen eine Bogenlampe, deren Strahlen durch

eine Convexlinse gesammelt auf die in einer parallelwandigen Cuvette befindliche Flüssigkeit geworfen wurden. Die Cuvette stand dicht vor dem engen Spalt eines dunkeln Kastens, in welchem das das Spectrum erzeugende Rowland'sche Gitter angebracht war. Hinter diesem wurde die photographische Platte eingeschoben. Der Vergleich der photographischen Aufnahmen der Absorptionsspectra mit den Ergebnissen der Untersuchung mittelst des Spectraloculars ergab für das Hauptabsorptionsband im Blaugrün gut übereinstimmende Resultate. Im violetten Theil des Spectrums kamen dagegen auf der photographischen Platte Absorptionsbänder zur Geltung, die mit dem Auge nicht zu unterscheiden waren.

Das Spectrum der Lösungen der rothen Schuppen-, Darm- und Excrementefarbstoffe, wie auch dasjenige der Farbstoffe in Substanz zeigt, mit dem Spectralocular besehen, wie schon früher erwähnt, eine Absorption im Ultraviolett und Violett, ein charakteristisches Absorptionsband im Blaugrün und bei den carminrothen Farbstoffen der Epidermis, ein scharf ausgesprochenes schmäleres Band im Orange. Ausserdem beobachteten wir noch eine mehr oder weniger starke Absorption des äussersten Roth. Die Ausdehnung der Bänder richtet sich in erster Linie nach der Concentration der Lösungen bezw. nach der Dicke der Farbstoffkrystalle. Das Spectrum ändert sich indessen auch, wenn die Lösung reducirt oder oxydirt, alkalisch oder sauer ist, ja selbst das Spectrum des gereinigten Auszuges verhält sich verschieden von dem des frischen.

Concentrirte Farbstofflösungen sowie dicke Krystalle lassen, wie aus den beistehenden Figuren ersichtlich, nur einen Theil der rothen und gelben sowie der grünen Lichtstrahlen hindurchgehen. Ausser den Absorptionsbändern findet hier eine ziemlich allgemeine, wenn auch schwächere continuirliche Absorption statt.

Die Lichtabsorption ist im Wesentlichen bei allen drei Farbstoffarten von Vanessa urticae dieselbe. Die Lösung des Schuppenfarbstoffs unterscheidet sich in ihrem Spectrum nur insofern von dem des Darm- und Excrementepigmentes, als das Absorptionsband im Blaugrün auch in concentrirten Auszügen nie so breit ist wie bei jenen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf das Spectrum des Excrementefarbstoffs von Vanessa urticae. Von dem Schuppen- und Darmfarbstoff dieses Falters sind nur normale Auszüge, d. h. frische und

aus gereinigtem Farbstoff bereitete Lösungen, berücksichtigt worden. Von Vanessa io kam ein Excrementefarbstoffauszug und eine essigsaure Lösung des Schuppenpigmentes zur spectroskopischen Untersuchung.

Es wurde zur photographischen Aufnahme des Spectrums verwendet:

1. Frische, verschieden concentrirte, rubinroth gefärbte Auszüge aus den Excrementen von Vanessa urticae in einer Schichtendicke von 1—4 cm.
2. Dieselben, nachdem die rubinrothe Farbe durch Erwärmen in Gelbroth verwandelt worden war. Schichtendicke 4 cm.
3. Auszüge des Excrementefarbstoffs, nachdem dieser durch mehrmaliges Ausfällen gereinigt worden war. Schichtendicke 4 cm.
4. Lösungen des Excrementefarbstoffs nach Behandlung mit Ammoniumsulfid. Reducirte hochgelb gefärbte Lösung. Schichtendicke 4 cm.
5. Auszug aus dem Excrementefarbstoff nach Behandlung mit Wasserstoffsuperoxyd. Oxydirte leicht rosa gefärbte Lösung. Schichtendicke 4 cm.
6. Essig-, salz- und schwefelsaure Auszüge aus dem Excrementefarbstoff. Farbe rosa, gelbroth und purpurbraun. Schichtendicke 1 und 4 cm.
7. Ammoniakalischer Auszug aus dem Excrementefarbstoff von Vanessa urticae. Farbe braungelb. Schichtendicke 1 und 4 cm.
8. Auszug aus dem Schuppenfarbstoff von Vanessa urticae; frische stark concentrirte Lösung. Farbe rothgelb. Schichtendicke 1 und 4 cm.
9. Concentrirter Auszug aus dem gereinigten Schuppenfarbstoff von Vanessa urticae. Farbe braungelb. Schichtendicke 1 cm.
10. Lösung des gereinigten Darmfarbstoffs von Vanessa urticae. Farbe braungelb. Schichtendicke 1 und 4 cm.
11. Essigsaure Schuppenfarbstofflösung von Vanessa io. Schichtendicke 4 cm.
12. Excrementefarbstofflösung von Vanessa io. Schichtendicke 1 und 4 cm.

Es ergab sich, wie aus dem Vergleich der Photogramme ersichtlich:

1. Für den frischen Farbstoffauszug aus den Excrementen von Vanessa urticae: Bei einer Schichtendicke

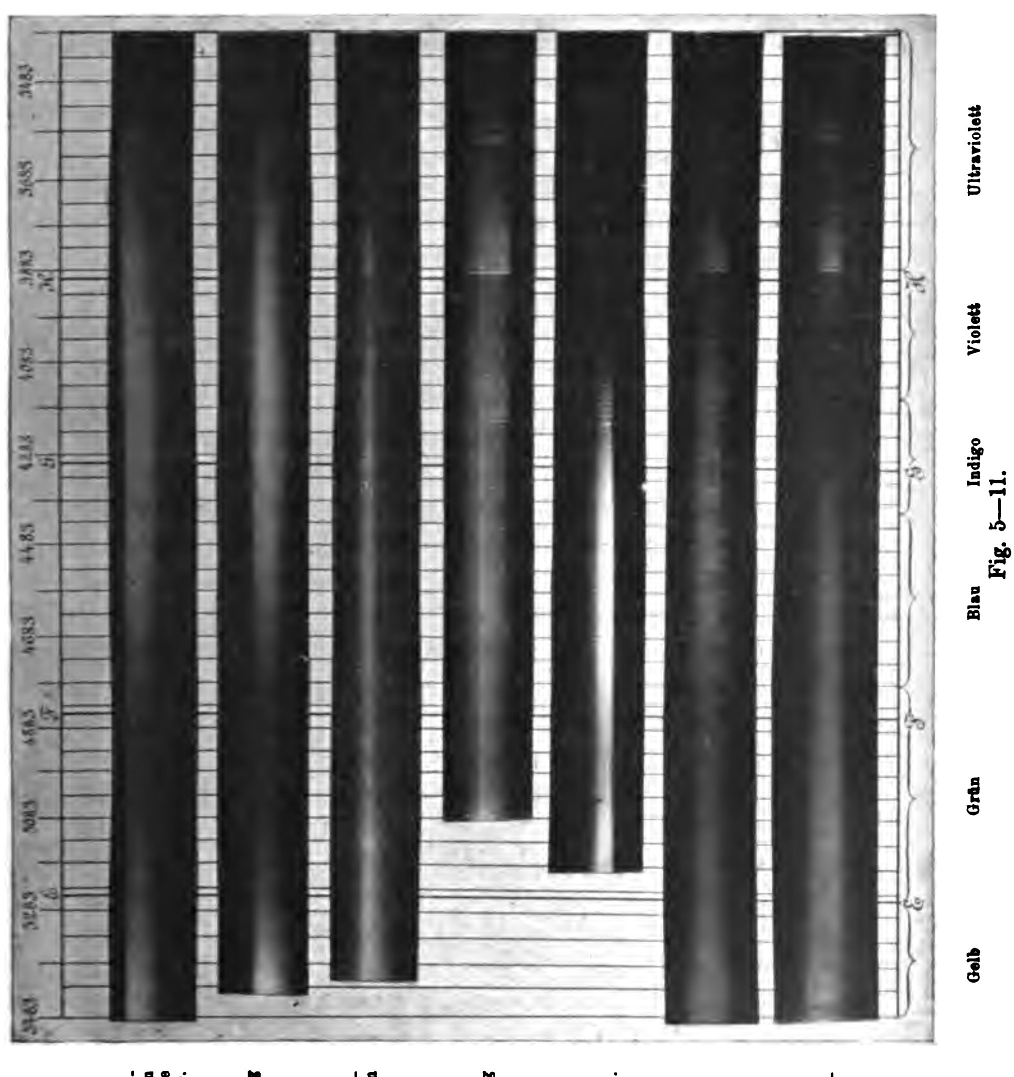


Fig. 5—11.

Absorptionsspectrum des Excrementefarbstoffs von Vanessa urticae. Frische Lösung. 4 cm Schichtendicke.

Dasselbe, nachdem die Lösung erwärmt worden war.

Absorptionsspectrum der gereinigten Lösung desselben Farbstoffs. 1 cm.

Absorptionsspectrum einer durch H_2O_2 oxydirten Lösung desselben Farbstoffs.

Absorptionsspectrum einer durch $(NH_4)_2S$ reducirten Lösung desselben Farbstoffs.

Absorptionsspectrum einer wässrigen Cochenillefarbstofflösung.

Absorptionsspectrum einer alkohol. Rohchlorophylllösung.

von 1 cm: Absorption des Ultraviolett bis 319,8 $\mu\mu$. Schwächere Absorption des Ultraviolett bis 369,8 $\mu\mu$, es folgt ein Helligkeitsmaximum im Violett und Indigo, das bis 471,6 $\mu\mu$ reicht, hierauf beobachten wir ein schwaches Absorptionsband im Blaugrün und Grün, das zwischen 486,6 $\mu\mu$ und 516,6 $\mu\mu$ am dunkelsten ist, aber bis 546,6 $\mu\mu$ verfolgt werden kann. Bei einer noch weniger concentrirten Lösung löst sich die Endabsorption im Ultraviolett in zwei Bänder auf. Das äussere, breitere reicht bis 353,3 $\mu\mu$, das zweite schmälere von 358,3 $\mu\mu$ bis 373,3 $\mu\mu$. Das Band im Blaugrün ist zwischen 473,6 $\mu\mu$ bis 513,3 $\mu\mu$ sichtbar.

Das Absorptionsvermögen der zuerst behandelten Lösung ist wesentlich grösser bei 4 cm Schichtendicke. (Fig. 5.) Es ergibt sich dann: Vollkommene Absorption des Ultraviolett bis 339,8 $\mu\mu$, schwächere des Ultraviolett und Violett bis 393,3 $\mu\mu$, so dass das bei 388,3 $\mu\mu$ liegende Kohlenband deutlich hervortritt. Es folgt ein Helligkeitsmaximum im Violett und Indigo, dass bei 456,6 $\mu\mu$ im Blau sein Ende erreicht, wo ein leichter Schatten den Anfang des charakteristischen Absorptionsbandes bezeichnet, das im Blaugrün sein Dunkelheitsmaximum erreicht. Das Absorptionsmaximum des Bandes im Blaugrün liegt zwischen den Wellenlängen: 486,6 $\mu\mu$ und 516,6 $\mu\mu$, schwächere Absorption ist indessen im Grün bis 541.6 $\mu\mu$ noch sichtbar.

2. Durch Erwärmen der Lösung wird ihre rubinrothe Farbe in sherrygelb verändert, das Absorptionsbild der Lösung bleibt indessen ziemlich gleich, die Endabsorption und das Absorptionsband im Blaugrün sind etwas verbreitert. (Fig 6.)

3. Grössere Unterschiede sind bei der Lösung aus gereinigtem Farbstoff zu verzeichnen. Während die Endabsorption grösser wird, nimmt die charakteristische Absorption im Blaugrün in auffallender Weise ab. (Fig. 7.)

4. Nach derselben Richtung verändert sich das Spectrum von Excrementefarbstofflösungen, die vorher mit Ammoniumsulfid reducirt worden sind. Die Endabsorption ist hier doppelt so lang wie bei normalen Lösungen, sie reicht bis zur Wellenlänge 443,3 $\mu\mu$, also bis an die Grenze des Blau. Das für die andern Lösungen charakteristische Absorptionsband im Blaugrün ist durch einen leichten Schatten kaum angedeutet. (Fig. 9.)

5. Im Gegensatz zu den reducirten Lösungen zeigen die durch Wasserstoffsuperoxyd oxydirten Auszüge verstärkte,

wenn auch diffuse Absorption in Blaugrün, während die Endabsorption nicht stärker ist wie bei normalen Auszügen. Ausser dieser, die bis 353,3 $\mu\mu$ reicht, beobachteten wir noch vier schwach angedeutete Absorptionsbänder. Das erste zwischen 358,3 $\mu\mu$ bis 353,3 $\mu\mu$ entspricht dem ersten Absorptionsband normaler, verdünnter Farbstofflösungen.

Das zweite und dritte, nur schwach angedeutete Band liegt zwischen den Wellenlängen 388,3 $\mu\mu$ bis 408,3 $\mu\mu$ resp. 423,3 $\mu\mu$ bis 438,3 $\mu\mu$, während das vierte dem charakteristischen Absorptionsband im Blaugrün entspricht. Dies Letztere ist zwischen 488,3 $\mu\mu$ und 498,3 $\mu\mu$ am dunkelsten und zeigt sich gegenüber dem Band in normalen Lösungen etwas nach dem rothen Ende hin verschoben. (Fig. 8.)

6. Während die Lösung des durch Essigsäure gefällten und im Ueberschuss der Säure wieder aufgelösten Pigments, weil sehr verdünnt, keine bemerkenswerthen Veränderungen zu erkennen gibt, sind die salz- und besonders die schwefelsauren Lösungen des Farbstoffs durch ein höchst charakteristisches spectrales Verhalten ausgezeichnet.

Im Spectrum der salzsauren Farbstofflösung sehen wir eine starke Endabsorption, die bis 373,3 $\mu\mu$ reicht und nur durch zwei helle Lininien bei 359,8 $\mu\mu$ unterbrochen wird. Ein heller Streifen zwischen 373,3 $\mu\mu$ bis 413,0 $\mu\mu$ trennt die Endabsorption von dem ersten Band der oxydirten Lösung entsprechendem Absorptionsband. Schon im Indigo bei 438,3 $\mu\mu$ finden sich die Anfänge des im Blaugrün gelegenen Absorptionsbandes, das zwischen 468,3 $\mu\mu$ und 508,3 $\mu\mu$ am dunkelsten ist.

Viel ausgesprochener sind die spectralen Eigenthümlichkeiten der schwefelsauren Lösung. (Fig. 12 und 13.) Die 1 cm dicke Schicht des purpurrothen Auszugs zeigt ausser einer Endabsorption bis 353,3 $\mu\mu$ vier scharf begrenzte Absorptionsbänder, die vom violetten Ende an gerechnet in folgender Weise vertheilt sind: Band 1: 368,3 $\mu\mu$ bis 378,3 $\mu\mu$, Band 2: 388,3 $\mu\mu$ bis 413,3 $\mu\mu$, Band 3: 421,6 $\mu\mu$ bis 464,0 $\mu\mu$, Band 4: 473,6 $\mu\mu$ bis 508,3 $\mu\mu$. In 4 cm dicker Schicht verschmilzt Band 1 mit der Endabsorption, auch die übrigen Bänder sind breiter und nur durch einzelne helle Linien von einander getrennt. Wichtig erscheint mir, dass die Bänder 1 und 2, die in der schwefelsauren Lösung des Pigmentes besonders deutlich ausgeprägt sind, aber auch in einem entsprechend verdünnten normalen Auszug erscheinen, auch für Rohchlorophylllösungen charakteristisch sind.

Das Spectrum der ammoniakalischen Lösung (Fig. 14) zeichnet sich durch eine sehr scharfe Abgrenzung des Bandes

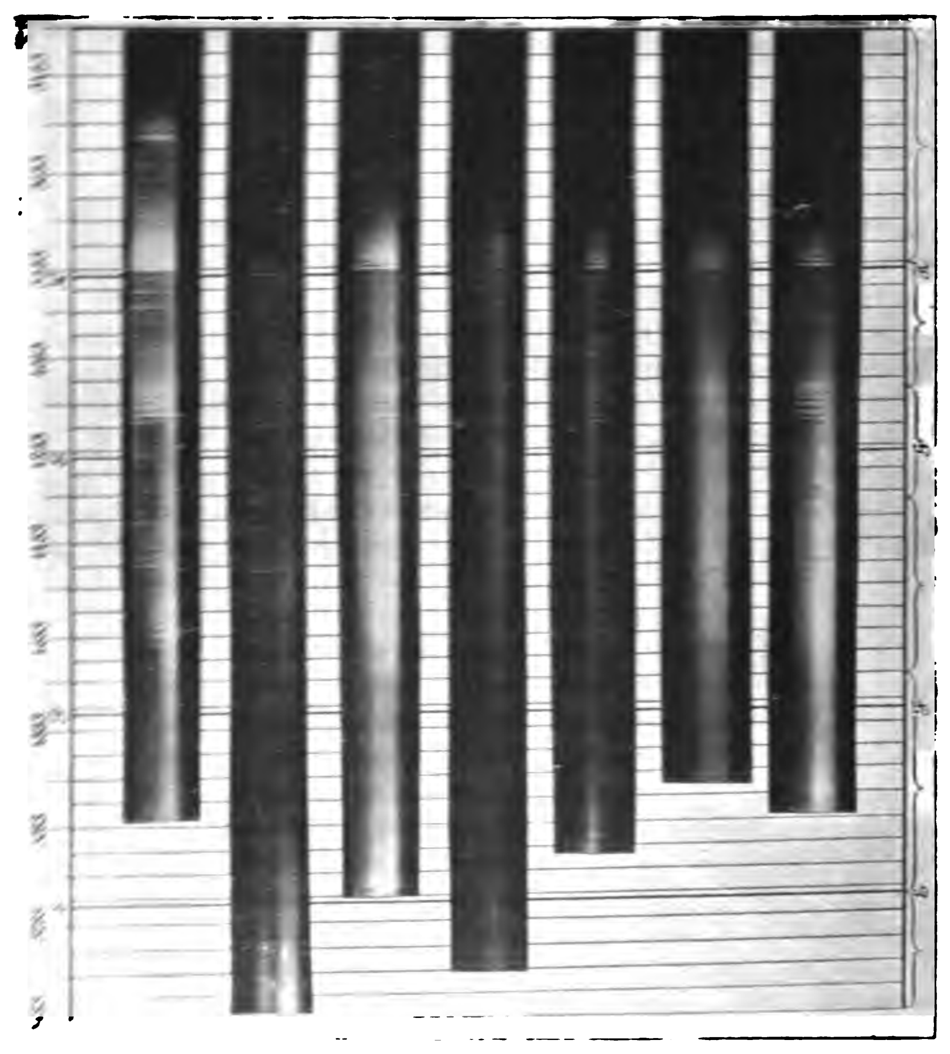


Fig. 12—18.

[illegible]

Dasselbe, Schichtendicke 4 cm.

Absorptionsspectrum einer ammoniakalischen Lösung desselben Farbstoffs.

Absorptionsspectrum einer Schuppenfarbstofflösung von V. urticae. 1 cm Schichtendicke. Concentrirte Lösung.

Dasselbe, 4 cm Schichtendicke.

Dasselbe von gereinigtem Schuppenfarbstoff. 4 cm Schichtendicke.

Absorptionsspectrum einer Lösung von gereinigtem Darmfarbstoff von V. urticae.

im Blaugrün aus, das aber erheblich schmäler erscheint als das Band einer gleich concentrirten frischen Farbstofflösung. Im Ultraviolett und im Violett ist die Absorption annähernd so stark wie bei der salzsaueren Lösung.

8. Die concentrirte Schuppenfarbstofflösung von Vanessa urticae (Fig 15 und 16) absorbirt alles Ultraviolett bis zur Wellenlänge 343,3 $\mu\mu$. Eine weitere Absorption entspricht dem Band 1 der schwefelsaueren Lösung. Von 383,3 $\mu\mu$ ist eine ziemlich continuirliche Absorption zu beobachten, die bei 473,6 $\mu\mu$ in das breite Absorptionsband im Blaugrün übergeht, dessen Dunkelheitsmaximum etwa bis 533,6 reicht. Die Lösung aus gereinigtem Farbstoff (Fig. 17) ist wie alle gereinigten Farbstoffauszüge durch stärkere Endabsorption ausgezeichnet. Auch das Band 2 ist gut ausgeprägt, von gleicher Schärfe ist das Band im Blaugrün, das von 473,6 $\mu\mu$ bis über 500,0 $\mu\mu$ hinausreicht.

9. Die aus gereinigtem Farbstoff bereitetete Lösung hat dieselbe starke Endabsorption, wie wir sie bei der Schuppenfarbstofflösung beobachtet haben. Auch Band 2 ist deutlich. Band 3 ist mit Band 4 im Blaugrün verbunden. Letzteres liegt zwischen 473,3 $\mu\mu$ bis 508,3 $\mu\mu$. (Fig. 18.)

10. Die essigsaure Schuppenfarbstofflösung von Vanessa io zeichnet sich durch eine Endabsorption des Ultraviolett bis 353,3 $\mu\mu$ und durch drei schwach ausgeprägte Absorptionsbänder aus. Diese liegen Band 1: 358,3 $\mu\mu$ bis 378,3 $\mu\mu$, Band 2: 383,3 $\mu\mu$ bis 408,3 $\mu\mu$, Band 3: 423,3 $\mu\mu$ bis 433,3 $\mu\mu$. Das Band im Blaugrün ist undeutlich, es liegt zwischen: 473,3 $\mu\mu$ bis 503,3 $\mu\mu$. Die Absorption nimmt in der Richtung von Violett nach Grün sehr erheblich an Intensität ab.

11. Das Spectrum des Excrementefarbstoffs von Vanessa io ist von dem des Excrementefarbstoffs von Vanessa urticae wesentlich verschieden, es unterscheidet sich von letzterem durch eine viel längere Endabsorption und durch viel schwächere Absorption im Blaugrün; das Spectrum des Excrementefarbstoffs von V. io entspricht annähernd demjenigen einer reducirten Farbstofflösung.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Der rothe Farbstoff von Vanessa urticae und Vanessa io besitzt in dem grünen bis ultravioletten Theil des Spectrums ein charakteristisches Lichtabsorptionsvermögen, das, wie die photographische Aufnahme zeigt, aus einem

sehr deutlichen breiteren Band im Blaugrün und drei schmäleren, meist wenig deutlichen Bändern im Indigo und Violett nebst einer Endabsorption im Ultraviolett besteht. Diese verschiedenen Absorptionsbänder treten in saurer Lösung, besonders in schwefelsaurer sehr deutlich getrennt auf. Mittelst des Spectroskops wird indessen nur das charakteristische Band im Blaugrün gesehen, die anderen sind offenbar zu schwach, um mit dem Auge erkannt zu werden. Durch Zusatz von Ammoniak wird das Absorptionsband im Blaugrün erheblich schärfer begrenzt und gleichzeitig die diffuse Absorption vermindert. Im Gegensatz hierzu bewirkt Säurezusatz Verbreiterung des Bandes, dessen Ränder verwaschen werden.

Sehr charakteristisch sind die Veränderungen, die durch Zusatz von Ammoniumsulfid auftreten. Die Endabsorption des reducirten Farbstoffs ist ungefähr doppelt so lang wie bei einem normalen Farbstoffauszug, dagegen schwindet das Absorptionsband im Blaugrün nahezu ganz.

Durch Oxydation der Lösungen mittelst Wasserstoffsuperoxyd treten neben verstärkter Gesammtabsorption die vier in schwefelsaurer Lösung besonders charakteristischen Absorptionsbänder hervor, sonst wird keine weitere Veränderung des Spectrums bewirkt.

Auch die Auszüge aus gereinigtem Farbstoff verändern sich in ähnlicher Weise wie die durch reducirende Mittel behandelten Lösungen. Auch hier nimmt die Endabsorption zu, während das Band im Blaugrün schärfer erscheint.

Durch Erwärmen der Lösung des Excrementefarbstoffs von Vanessa urticae wird sowohl die Endabsorption wie auch die Absorption im Blaugrün verstärkt. Bezüglich der spectralen Veränderungen, die durch Reduction der Farbstofflösungen auftreten, verhält sich das rothe Pigment der Vanessen ganz ähnlich wie andere respiratorische Pigmente.

Von den für die Farbstofflösungen charakteristischen Absorptionsmaxima im violetten Theil des Spectrums sind die als Band 1 und 2 bezeichneten Absorptionen der schwefelsauern auch dem Spectrum von Rohchlorophyllauszügen eigen. Bei sehr

verdünnten Rohchlorophylllösungen tritt aber auch eine Absorption im Blaugrün auf, die an das charakteristische Absorptionsband der Vanessenpigmentlösungen erinnert. Im Blaugrün zeigt der Vanessenfarbstoff dieselbe Absorption wie das Urobilin, und mit dem Spectralocular besehen, konnte ich in dem spectralen Verhalten beider Farbstoffe überhaupt keinen Unterschied erkennen.

Von Wichtigkeit ist es ferner, dass das Absorptionsspectrum einer Lösung von Cochenillefarbstoff mit demjenigen des Vanessenfarbstoffs in auffallendster Weise übereinstimmt. (Fig. 10 u. 11).

5. Verhalten des rothen Vanessenfarbstoffs gegen Fällungsmittel.

Der Schuppenfarbstoff der Vanessen zeigt in seinem Verhalten gegen Fällungsmittel einige Verschiedenheiten gegenüber dem Verhalten der Darm- und Excrementepigmente. Während die beiden letzteren Farbstoffe, aus ihrer wässrigen Lösung durch Alkohol sehr vollständig ausgefällt werden (der Excrementefarbstoff schon durch das 3 bis 5 fache, der Darmfarbstoff durch das 6—7 fache Volumen 96 %igen Alkohols), gelang es mir, selbst mit dem 8—10 fachen Volumen absoluten Alkohols, nie mehr als einen ganz kleinen Theil des gelösten Schuppenpigmentes als rothbraune pulvrige Masse niederzuschlagen. Das alkoholische Fällungsproduct des Excremente- und Schuppenfarbstoffs bildet eine gelbrothe oder rothbraune, beim Darmfarbstoff eine oft gelbbraune flockige Masse, die auf dem Filter von der überstehenden Flüssigkeit getrennt einen geléeartigen Ueberzug bildet, der an der Luft erhärtet und einen braunschwarzen Farbenton annimmt.

Der getrocknete Farbstoff gibt auf Papier einen hell carminrothen Strich; ein Ausbleichen des Farbstoffs in Substanz am Licht habe ich nicht beobachtet.

Das durch den Zusatz von Alkohol erhaltene Fällungsproduct aus der Farbstofflösung bleibt wasserlöslich, auch wenn es längere Zeit, z. B. fünf Monate, unter Alkohol gestanden hat. Es verliert jedoch die Fähigkeit, sich in Wasser aufzulösen, um so mehr, je öfter es dem Fällungsprocess unterworfen und an der Luft getrocknet worden ist. Diese Verminderung der Löslichkeit scheint mir indessen mehr durch die Berührung mit der atmosphärischen Luft bedingt als durch die Einwirkung des Alkohols. Wenn wir z. B. den gefällten Farbstoff an die Filterwand antrocknen und

einige Tage stehen lassen, so ist die Möglichkeit, den braunschwarzen Belag durch Wasser, selbst durch heisses, vollkommen aufzulösen, so gut wie ausgeschlossen.

Durch salzsauren Alkohol wird der Farbstoff aus seiner wässrigen Lösung nicht ausgefällt; er wird indessen sofort niedergeschlagen, wenn wir die Mischung durch Ammoniak neutralisiren. Versetzen wir das durch Alkohol erhaltene Fällungsprodukt des Pigments mit salzsaurem Alkohol, so wird vom Alkohol Farbstoff aufgenommen, besonders wenn die Flüssigkeit auf dem Wasserbad langsam erwärmt wird. Nach wenigen Stunden färbt sich der salzsaure Alkohol bernsteingelb, während am Grund des Glases der entfärbte flockige Niederschlag als voluminöser schmutzig lehmgelb gefärbter Satz zurückbleibt, der sich nur noch theilweise in Wasser mit schmutzig gelbgrauer Farbe auflöst. In dem salzsauren alkoholischen Farbstoffauszug entsteht weder nach dem Erkalten noch auf den Zusatz von Wasser hin eine Fällung. Es scheint somit der rothe Excremente- und Darmfarbstoff an einen Körper gebunden zu sein, von dem er unter gewissen Bedingungen, hier durch Salzsäure, getrennt werden kann. Dieses Verhalten erinnert lebhaft an das des Blutfarbstoffes, da ja auch das Hämoglobin durch die Einwirkung von Säurealkohol in seine beiden Componenten in Hämatin und Globin zerlegt wird, wobei ebenfalls die färbende Componente, das Hämatin, in den Alkohol übergeht.

Ein anderes Fällungsmittel bilden die Mineralsäuren, wenn sie in kleiner Menge den Farbstofflösungen zugesetzt werden. Die durch Mineralsäuren erzielten Niederschläge aus Lösungen des Darm- und Excrementefarbstoffes sind reichlicher wie die aus demselben Volumen eines Schuppenauszugs von gleicher Concentration, und auch die durch den sich bildenden Niederschlag verursachte Trübung der Lösungen tritt bei den beiden ersten Pigmenten früher auf wie bei letzterem.

Durch Salzsäure entsteht ein rother, durch Salpetersäure ein weisser Niederschlag, der beim Erhitzen der Lösung verschwindet und beim Erkalten wiederkehrt. Dieses Verhalten ist für alle drei Pigmente charakteristisch. Durch Kochen färbt sich der Salpetersäure-Niederschlag gelb oder gelbroth.

Im Ueberschuss der Säure löst sich der Niederschlag wieder auf. Phosphorwolframsäure färbt die Farbstofflösung violett; der Niederschlag, den sie erzeugt, ist zuerst braunviolett, wird aber nach einiger Zeit schön gelbroth.

Durch den Zusatz von Essigsäure entsteht ein rother Niederschlag, der dadurch charakterisirt ist, dass er sich, wenn die Lösung Excrementefarbstoff enthält, im Ueberschuss der Säure nur sehr wenig wieder auflöst; löslicher verhält sich der Darm- und Schuppenfarbstoff. Wird die durch Essigsäure gefällte rothe Pigmentlösung gekocht, so bilden sich in derselben grössere und kleinere Schollen eines braunen Farbstoffs, die sich nach dem Erkalten zu Boden setzen.

Die Lösungen der Neutralsalze Chlornatrium, Ammoniumsulphat, Magnesiumsulphat fällen alle drei Farbstoffe aus ihrer wässrigen Lösung, aber nur dann, wenn die Salzlösung sehr stark concentrirt ist. Salzlösungen schwacher oder mittlerer Concentration wirken wohl hinderlich auf die Löslichkeit des Pigmentes ein, sind aber nicht im Stande, den Farbstoff auszufällen. Am leichtesten fällt Ammoniumsulphat.

Sehr voluminöse Niederschläge erhalten wir durch die Salze der schweren Metalle:

Basisch essigsaures Blei fällt den Farbstoff momentan mit rothgelber Farbe. Quecksilberchlorid verursacht einen orangegelben Niederschlag, aus dem sich nach einigem Stehen braunrothe Krystalldrusen absetzen.

Kupfersulphat fällt weniger rasch, der Niederschlag ist braun. Salpetersaures Silber bewirkt wieder sofortige Fällung. Der Niederschlag ist erst leuchtend rothgelb, die überstehende Flüssigkeit hat starke grüne Fluorescenz. In dem unverkorkten Reagenzglas wird der Niederschlag nach einigen Tagen braungrau; die überstehende Flüssigkeit ist jetzt vollkommen farblos und hat ihre Fluorescenz verloren.

Nach Zusatz von Tannin allein erfolgt weder in einer Darm- oder Excrementefarbstofflösung noch in einer solchen der Schuppenpigmente Fällung. Erst wenn wir der Lösung etwas Chlornatrium zusetzen, bildet sich ein ziemlich reichlicher braungelber Bodensatz, der sich in Wasser und etwas Natronlauge oder Ammoniak mit gelb-braunrother Farbe löst. Ein grösserer Zusatz von Alkali verursacht wiederum die Fällung des Farbstoffes. Mit Essig-

säure und Ferrocyankalium entsteht ein Niederschlag, der zuerst roth gefärbt ist. Nach kurzer Zeit schwindet indessen die rothe Farbe und macht einem intensiven Blau Platz. Die Entstehung von löslichem Berlinerblau beobachtete ich noch viel ausgesprochener, wenn statt Essigsäure Salzsäure zugesetzt wurde. Hier färbte sich dann nicht nur der anfangs rothgelbe Niederschlag blau, sondern auch die überstehende Flüssigkeit enthielt blauen Farbstoff, während diese nach Zusatz von Essigsäure rothbraun gefärbt war.

Auch der Zusatz von Natron- und Kalilauge, und der von Ammoniak bewirkt nach einiger Zeit Fällung des Farbstoffes Der Niederschlag durch diese Alkalien ist nie roth, sondern stets missfarbig braungelb. Dass der Farbstoff der Excremente und des Darmes auch durch Einleiten von Kohlensäure gefällt wird, ist bereits besprochen worden. Wir sehen aus alledem, dass der rothe Farbstoff der Vanessen eine sehr ausgesprochene Fällbarkeit besitzt, und dass er sich in dieser Beziehung ebenso verhält wie ein Eiweisskörper. Jedenfalls sind wir berechtigt, nach seinem Verhalten gegen die angewandten Fällungsmittel, ihm eine colloide Natur zuzuschreiben.

Die Fällbarkeit des Farbstoffes durch die sogenannten Alkaloidfällungsmittel (Phosphorwolframsäure, Ferrocyankalium - Essigsäure, Tannin) lassen indessen auch auf die Gegenwart von Diamidosäuern schliessen.

Die Unterschiede in der Fällbarkeit, die sich zwischen dem Excremente- und Darmfarbstoff einerseits und dem Schuppenfarbstoff andererseits ergeben, weisen auf eine Aenderung in der Constitution des Schuppenpigmentes hin, eine Aenderung wie sie in ähnlicher Weise Eiweisskörper durch die Verdauung erfahren.

6. Farbenreactionen des rothen Vanessenpigments.

a) Auf Eiweisskörper.

Die bisherigen Reactionen des Farbstoffs, seine Löslichkeit, die Möglichkeit, denselben durch alle für die Fällung von Eiweisskörper charakteristischen Reagenzien aus seinen Lösungen abzuscheiden, das chemische Verhalten der so erhaltenen Niederschläge, dann aber auch die Klebrigkeit und leichte Zersetzbarkeit, der beim Schütteln Schaum bildenden Lösung hatte es mir nahegelegt, das rothe

Vanessenpigment zu den Proteïden zu stellen; ich suchte desshalb in erster Linie durch Anwendung der charakteristischen Farbenreactionen für Eiweisskörper festzustellen, inwieweit meine Vermuthungen das Richtige getroffen hatten.

Die Xanthoproteïn- und Millon'sche Reaction ergaben bei allen drei Farbstofflösungen ein positives Resultat. Ich erhielt, wie schon erwähnt, nach dem Zusatz von einigen Tropfen Salpetersäure zu einer verdünnten Pigmentlösung einen weissen Niederschlag, der sich beim Erhitzen auflöste, um beim Erkalten mit gelber Farbe wieder zu erscheinen. Auf Zusatz von Ammoniak wurde der Niederschlag rothgelb, auf Zusatz von Natronlauge dagegen braungelb. Am deutlichsten verlief die Reaction in einer Lösung von Darmfarbstoff. Die röthlich braungelb gefärbte Lösung schlug beim Erhitzen mit einigen Tropfen Salpetersäure plötzlich in Hellgelb um. Nach Zusatz von Natronlauge wurde die noch heisse hellgelbe Lösung momentan rothgelb, und auch der Niederschlag, der sich nach dem Erkalten der Lösung bildete, war orangeroth gefärbt.

Mit einigen Tropfen Millon'schem Reagens versetzt, bildet sich in sämmtlichen Lösungen des rothen Farbstoffs sofort ein flockiger, anfangs ungefärbter Niederschlag. Durch Erhitzen färbt sich die Lösung vorübergehend rosenroth (ähnlich, wie ich es bei reinen Tyrosinlösungen gefunden habe), nach längerem Erhitzen entfärbt sich die Lösung scheinbar wieder, gleichzeitig scheiden sich aber orangeroth bis ziegelroth gefärbte Flocken ab, die nach dem Erkalten zu Boden sinken. In Bezug auf das Ergebniss der Millon'schen Reaction konnte ich keinen Unterschied beobachten, ob nun die Lösung Excremente-, Darm- oder Schuppenfarbstoff enthielt.

Die Biuretreaction verlief unbestimmter. Es entstand zwar bei Zusatz von wenigen Tropfen einer sehr stark verdünnten, schwach graublauen Kupfersulfatlösung in der Lösung des Schuppen-, Darm- und Excrementefarbstoffs sofort ein braungelber Niederschlag, auf Zusatz von einigen Tropfen Ammoniak erhielten indessen die Proben statt einer blauen (Albuminate) oder rothvioletten (Albumosen und Peptone) Färbung einen ausgesprochenen grünblauen Ton. Durch Zusatz von Kali- oder Natronlauge bekamen die Lösungen einen Stich in's Violette; wurde indessen etwas mehr Kali- oder Natronlauge zugesetzt und gekocht, so färbte sich die ganze Flüssigkeit plötzlich

gelbroth, und es fiel ein dicker braungelber Niederschlag aus. Wenig beweisend war auch das Ergebniss der Liebermann'schen Reaction. Einem Körnchen Excrementefarbstoff in Substanz wurden einige Tropfen Salzsäure und ein Tropfen Schwefelsäure zugesetzt. Die Flüssigkeit färbte sich beim Erwärmen violettroth, aber nicht rein violett. Vielleicht, dass bei beiden Reactionen die Eigenfarbe und der Zuckergehalt der Lösung störend auf die Reactionsfarbe eingewirkt hatte. Wenn danach im Farbstoffmolekül die Gegenwart einer biuretähnlichen Gruppe und eines Kohlehydratcomplexes auch noch nicht mit Sicherheit erwiesen ist, so besteht jedenfalls kein Zweifel darüber, dass aromatische Gruppen in demselben vorhanden sind, wie es sich aus dem Gelingen der Xanthoproteïn- und Millon'schen Probe sehr deutlich ergeben hat.

Nach Adamkiewicz tritt in einer Eiweisslösung, sobald dieselbe mit Schwefelsäure in Berührung gebracht wird, eine charakteristische Farbenreaction auf, es färbt sich die Lösung in rascher Aufeinanderfolge grün, gelb, orange, roth und schliesslich violett. Ein ähnliches Farbenspiel habe ich auch mit dem Vanessenpigment bei Zusatz von Schwefelsäure erhalten. Einige Tropfen concentrirter Schwefelsäure wurden in einem Reagenzglas durch Schuppenfarbstofflösung von Vanessa urticae überschichtet. Es bildete sich alsbald an der Berührungsstelle beider Flüssigkeiten ein rother Ring, dem ein violetter und ein weniger intensiv gefärbter blauer Ring folgte. Schliesslich prüfte ich den Farbstoff mittelst Chlorwassers, um festzustellen, ob nähere Beziehungen zwischen dem rothen Vanessenpigment und dem Proteïnochrom Klug's, dem Proteïnochromogen Stadelmann's, oder dem Tryptophan Neumeister's bestünden. Alle diese Substanzen, welche bei der Verdauung gebildet werden, haben die Eigenschaft, mit Chlorwasser versetzt eine charakteristische Reaction zu geben. Das Proteïnochrom, mit dem unser Farbstoff am ehesten verglichen werden könnte, entsteht bei der Selbstverdauung des getrockneten oder frischen Pankreas und stellt einen rothgelben sauerstoffreichen Körper dar. Es wird angenommen, dass zu seiner Bildung ein besonderes Ferment nothwendig ist, das sich im frischen Pankreas findet, da durch reine Trypsinverdauung nur Proteïnochromogen entsteht. Die Chlorwasserreaction zeigte indessen, dass es sich in dem Vanessenpigment um keinen proteïnochromähn-

lichen Körper handelt; der erwartete Farbenwechsel blieb aus, die Flüssigkeit wurde statt violett hellgelb gefärbt.

b) **Reactionen auf Harn- und Gallenpigmente.**

Das charakteristische Absorptionsspectrum der rothen Vanessenfarbstoffe, dessen Aehnlichkeit mit den Spectren des Hydrobilirubins und des Urobilins nicht zu verkennen ist, veranlasste mich, die Lösungen auch auf die Gegenwart von Harn- und Gallenfarbstoffe zu prüfen.

Die alkoholische Lösung des Schuppenpigmentes von Vanessa urticae und io zeigte auf Zusatz von Ammoniak schwache, grüne Fluorescenz, die durch Hinzufügen von Chlorzink wesentlich verstärkt wurde. Auch der Farbenwechsel, den die Flüssigkeit durch Ammoniak erleidet, entspricht dem Verhalten einer Urobilinlösung, die sich ebenfalls von Rothgelb nach Gelb verfärbt.

Auf Gallenfarbstoff untersuchte ich vermittelst der Gmelinschen Reaction und zwar sowohl den Schuppenfarbstoff beider Vanessen wie auch den des Darmes und der Excremente. Am deutlichsten verlief die Reaction mit dem durch Schütteln in Chloroform gelösten Farbstoff. Wird die lichtgelb gefärbte Chloroformlösung von salpetrige Säure enthaltender concentrirter Salpetersäure überschichtet, so bildet sich an der Berührungsstelle der beiden Substanzen sofort ein gelbgrüner Ring, der nach kurzer Zeit in prachtvolles Grün übergeht. Der auf den grünen Ring folgende blaue Reif bleibt nur kurze Zeit sichtbar; er ist meistens längst verschwunden, während der grüne und der dem blauen folgende rothe noch lange zu erkennen sind, wenn auch ihre Intensität allmählich abnimmt und einer gleichmässigen gelben Färbung der Flüssigkeiten Platz macht. Werden statt der Chloroformlösung wässrige Farbstofflösungen verwendet, so ist das Farbenspiel viel weniger schön, weil die einzelnen Töne bedeutend schwächer auftreten. Grün ist ganz blass und bleibt nicht lange sichtbar, dagegen ist Blau und Roth verhältnissmässig gut zu unterscheiden. Das Endproduct besteht wieder in einer gelben Flüssigkeit. In alkoholischen Lösungen verlief die Gmelin'sche Reaction farbenprächtig, aber äusserst stürmisch. Den brillantesten Farbenwechsel erzielte ich vermittelst der von Huppert-Salkowski abgeänderten Gmelin'schen Reaction. Nach dieser Methode wird erst die wässrige Farbstofflösung durch Soda alkalisch gemacht und

durch Calciumchlorid gefällt, wobei der Farbstoff mitgerissen wird. Der Niederschlag muss durch alkoholische Salzsäure gelöst werden, und in diese Lösung wird dann concentrirte Salpetersäure eingetragen. Der blaue Ring war auch nach dieser Methode nur kurze Zeit sichtbar, aber um so länger blieben die drei kräftig gefärbten Ringe: Grün, Roth, Gelb, über einander gelagert bestehen. Controlversuche mit Chloroformauszügen aus der Fisch- und Vogelgalle ergaben dieselben Resultate, so dass die Gegenwart eines dem Gallenpigment nahe verwandten Körpers in dem Farbstoff der Vanessen als sicher angenommen werden muss.

c) **Lipocyanin-Reaction.**

Schliesslich sei noch erwähnt, dass die Krystalle des Farbstoffs mit concentrirter Schwefelsäure blau gefärbte Körper ergeben. Diese Lipocyaninreaction ist sonst nur für die Lipochrome oder Carotine charakteristisch.

7. Reactionen auf Kohlehydrate im rothen Vanessenpigment.

Lässt man von der wässrigen Lösung des roten Vanessenfarbstoffs einige Tropfen in eine kochende Fehling'sche Lösung fallen, so nimmt die blaue Kupfersulfatlösung plötzlich einen violetten oder blaugrünen Ton an. Nach dem Erkalten finden wir auf dem Boden der Kochschale einen rothen oder rothgelben Satz von Kupferoxydul. Der Farbstoff besitzt somit ein ausgesprochenes Reductionsvermögen, das auch dann zum Ausdruck kommt, wenn statt der alkalischen Lösung des Kupfersalzes eine ammoniakalische Silbernitratlösung verwendet wird. Im letzteren Fall bildet sich beim Erhitzen ein Silberspiegel. Da ausser den verschiedenen reducirenden Zuckerarten auch Harnsäure, Schleim und Aldehyde eine ähnliche Wirkung auf alkalische Kupfer- und Silbersalzlösungen ausüben, so konnte nicht ohne Weiteres auf die Gegenwart von Zucker geschlossen werden. Die Prüfung mittelst des Saccharimeters hatte keine messbare Drehung der Polarisationsebene durch den Farbstoff in Lösung ergeben. Dieses negative Resultat war aber insofern ohne Bedeutung, da bei Anwesenheit einer rechtsdrehenden Zuckerart die Drehung der Polarisationsebene durch die linksdrehende Eigenschaft des in der Lösung befindlichen Eiweisskörpers compensirt sein konnte. Beweisender waren die Ergebnisse der Phenylhydrazin-

probe, die ich mit Lösungen des Excremente-, Darm- und Schuppenfarbstoffs der beiden Falter anstellte. Von jeder Farbstoffsorte wurden zwei Proben verwendet, die eine frisch, die andere, nachdem sie drei Stunden lang auf dem Wasserbad mit 2 %iger Salzsäure gekocht hatte. Ich wollte sehen, ob sich in dem Farbstoff ein Kohlehydrat befinde, das etwa erst durch Inversion in Glykose gespalten wird. In solchem Fall war zu erwarten, dass die invertirte Probe mehr Osazonkrystalle liefern würde wie die erste, nicht invertirte.

Beide Proben der drei Farbstoffsorten ergaben indessen ziemlich gleich viele Osazonkrystalle, nachdem sie 1½—2 Stunden mit zwei Theilen essigsaurem Natron und drei Theilen salzsaurem Phenylhydrazin auf dem Wasserbad gekocht hatten. Am schnellsten schieden sich die hellgelb gefärbten Krystalle ab, wenn der Verdampfungsrückstand des überstehenden Alkohols, der zur Fällung des Farbstoffs aus wässriger Lösung verwendet worden war, zu dem Versuch genommen wurde. Die wässrige Lösung des Fällungsproductes selbst ergab nur amorphes Phenylosazon, das, wie auch Pavy (22) beschrieben hat, in eigenartigen, moosförmig verzweigten Gebilden ausfällt. Wurde dieser Niederschlag abfiltrirt, durch heissen Alkohol gelöst und durch tropfenweisen Zusatz von Wasser gefällt, so schieden sich aus dem getrübten Alkohol nach kürzerer oder längerer Zeit, manchmal erst nach einigen Tagen kugelige Massen von Osazonkrystallen ab. Verglichen mit den von Pavy aus den verschiedensten Zuckerarten erhaltenen Osazonkrystallen sind die aus der Farbstofflösung erhaltenen Krystalle denen am ähnlichsten, die der englische Forscher aus Hühnereiweiss nach kurzer Dauer des Abspaltungsprocesses erzielt hatte.

Am schwierigsten war es, Osazonkrystalle aus den Lösungen des Schuppenfarbstoffs zu gewinnen. Da ich, wie schon erwähnt, keine Quantitätsunterschiede in den aus nicht invertirten und aus invertirten Farbstofflösungen erhaltenen Osazonkrystallen wahrnehmen konnte, so ist anzunehmen, dass es sich um die Gegenwart eines freien Zuckers handelt, nicht um die eines Kohlehydrats, von dem der Zucker erst abgespalten werden muss.

Die Thatsache ferner, dass der überstehende Alkohol die reducirende Substanz auszieht, lässt ebenfalls darauf schliessen, dass der fragliche Körper Zucker ist, da der Alkohol ausser diesem kein Kohlehydrat in Lösung aufnimmt.

8. Salze des rothen Vanessenpigments.

Die wässrige Lösung des rothen Darm-, Excremente- und Schuppenfarbstoffs hat die Eigenschaft, blaues Lackmuspapier zu röthen, ebenso blaues Lackmoidpapier; rothes Lackmoidpapier behält seine Farbe, wenn es mit der Lösung betupft wird. Auch gegenüber Cochenilletinctur zeigt der Vanessenfarbstoff die Natur einer Säure, indem er die rothe Cochenillelösung nicht bläut, wie es z. B. saure Salze zu thun pflegen.

Mit den Metallen der alkalischen Erden Calcium und Baryum bildet der Farbstoff schön gefärbte und gut krystallisirte Salze. Aus Kalkwasser fällt das in wässriger Lösung eingeführte Pigment nach sehr kurzer Zeit als gelbroth gefärbter Niederschlag aus. Nach ungefähr 24 Stunden bilden sich in einem solchen Niederschlag sphärisch gebaute, aus vielen schmalen Nadeln gefügte Krystalldrusen. Die Farbe dieser Krystalle ist gelb. Wird die Farbstofflösung statt in Calciumhydroxyd in Baryumhydroxyd eingetragen, so entsteht ebenso das mehr rosa wie gelb gefärbte Baryumsalz. Der Bau der Baryumsalzkrystalle ist im Wesentlichen derselbe wie der des Calciumsalzes, die Krystalldrusen sind nur weniger regelmässig sphärisch wie die vorher besprochenen.

Auch in ihrem optischen Verhalten zeigen sich die Salze beider Metalle vollkommen identisch. Sie sind doppelbrechend und optisch zweiachsig. Da die optischen Achsen einen sehr spitzen Winkel zusammen einschliessen, so erscheint, ähnlich wie bei einachsigen Krystallen, bei gekreuzten Nikols im Polarisationsmikroskop auf dem Krystall ein schwarzes Kreuz umgeben, von farbigen Ringen; bei parallel gestellten Nikols sind die beiden dunkeln Hyperbeln gut zu erkennen.

Unter dem Spectroskop zeigen die Salze beider Metalle eine Absorption der blauen, grünen und gelben Strahlen. Eine stärker verdunkelte Stelle liegt bei 500,0 $\mu\mu$ Wellenlänge. Die Baryumsalzkrystalle absorbiren etwas weniger wie die Krystalle des Calciumsalzes.

Mit den Metallen der Zink- und Silbergruppe habe ich bis jetzt mit Ausnahme des Quecksilbers keine Bildung

krystallinischer Verbindungen beobachten können. Wird die Farbstofflösung in eine Lösung von Magnesiumcarbonat eingetragen, so entwickeln sich reichlich Gasblasen, die in Kalkwasser Trübung hervorrufen, sich also als Kohlensäure zu erkennen geben. Die Lösung färbt sich gelb, reagirt schwach sauer, der Farbstoff fällt aus, aber nicht in krystallinischer Form. Auch kohlensaures Kupfer erzeugt in der Pigmentlösung eine mehr oder minder starke Entwicklung von Kohlensäure. Der Kupferniederschlag verändert seine hellgrüne Farbe und wird gelbgrau bis braungrün; Krystallbildung war aber auch hier nicht zu beobachten.

Cyansaures Quecksilber wird in der Farbstofflösung ebenfalls unter Gasabscheidung gelöst. Die Lösung färbt sich gelb, reagirt sauer und gibt beim Verdunsten nadelförmige, doppelbrechende Krystalle, die im polarisirten Licht sehr ausgesprochene Interferenzfarben zeigen.

Sphärische Krystalle erhielt ich, als ich den Farbstoffauszug mit Sublimat versetzte. Es bildete sich erst eine rothe Fällung, zwischen deren lockeren Flocken nach 24 Stunden braunrothe krystallinische Körnchen mit blossem Auge zu erkennen waren.

Von weiteren Krystallbildungen des Farbstoffs sind zu erwähnen: 1. Roth gefärbte klinorhombische Tafeln, die sich in einer durch Salzsäure mit Ammoniak versetzten Farbstofflösung bildeten; 2. Braun gefärbte, regelmässig sechseckig gebaute Platten, die in einer Farbstofflösung zur Abscheidung kamen, die Salzsäure im Ueberschuss enthielt, so dass sich kein Farbstoffniederschlag bilden konnte, und mit Ammoniak versetzt worden war.

Schlussfolgerung.

I. Die chemische Natur des rothen Vanessenpigmentes.

Es ist nach allen im Vorhergehenden mitgetheilten Reactionsergebnissen nicht daran zu zweifeln, dass wir es in dem rothen Farbstoff der Vanessen mit einem eiweissartigen Körper zu thun haben. Sein Verhalten gegen Lösungs- und Fällungsmittel, das positive Ergebniss der Xanthoproteïn- und der Millon'schen Reaction lassen eine solche Schlussfolgerung durchaus nothwendig erscheinen. Von den allgemeinen Eiweissreactionen zeigt das Vanessenpigment nur die Biuretprobe in wenig ausgesprochener Weise, offenbar dess-

halb, weil hier die Eigenfarbe der Lösung, wahrscheinlich auch ihr Zuckergehalt, das Erscheinen der Reactionsfarbe ungünstig beeinflusst. Auch das Auftreten von freiem Zucker im Farbstoff spricht keineswegs gegen seine Proteïdnatur, nachdem Pavy gezeigt hat, dass alle Proteïdsubstanzen zu den Glykosiden zu rechnen sind, dass sie alle unter den verschiedensten Bedingungen, durch die Einwirkung von Fermenten, von Säuren, Alkalien, von Wasser bei erhöhter Temperatur, Spaltungsprocesse durchmachen, deren eines Product Zucker ist, und dass ferner freier Zucker in allen Körpergeweben angetroffen wird.

Es wird nun zu entscheiden sein, welcher Gruppe von Eiweisskörpern unser Farbstoff wohl einzufügen ist. Am nächsten steht das rothe Vanessenpigment ohne Zweifel den Albumosen und den Histonen. Beide Substanzen haben mit dem Farbstoff die Reaction gemeinsam, durch wenige Tropfen Salpetersäure aus ihren Lösungen in einen Niederschlag verwandelt zu werden, der die Eigenschaft besitzt, beim Erhitzen in Lösung überzugehen und erst beim Erkalten wieder zu erscheinen.

Die Möglichkeit, den Farbstoff durch kaltes und heisses Wasser zu lösen, schliesst seine Zugehörigkeit zu den Heteralbumosen von vornherein aus, und seine Fällbarkeit durch Kupfersulfat weist darauf hin, dass er als Protalbumose zu betrachten ist. Eine Reaction unterscheidet den Farbstoff, wenigstens den Excrementefarbstoff, indessen auch von den Protalbumosen, nämlich seine geringe Löslichkeit im Ueberschuss von Essigsäure. Ich habe bereits erwähnt, dass der Excrementefarbstoff durch Essigsäure leicht ausgefällt, das Fällungsproduct aber nur schwer und nur in sehr grossem Säureüberschuss wieder gelöst werden kann.

Sein Verhalten gegen Essigsäure bildet indessen auch einen wesentlichen Unterschied gegenüber demjenigen der Histone, mit denen der Eiweisskörper im Uebrigen manche Aehnlichkeit hat. Histone sind durch Essigsäure überhaupt nicht fällbar. Besonders ist auch für den Farbstoff die Eigenschaft charakteristisch, wie die Histone aus salzsaurer Lösung durch Ammoniak gefällt zu werden. Der so entstandene Niederschlag ist auch im Ueberschuss von Ammoniak nicht löslich. Eine weitere Reaction, die den dem Excremente- und Darmfarbstoff der Vanessen zu Grunde liegenden Eiweisskörper von den Albumosen unterscheidet, ist seine Fällbarkeit durch Kohlensäure. Ausser den Globulinen ist von allen anderen Eiweisskörpern nur das Globin

des Blutfarbstoffs durch Kohlensäure fällbar; dieses gehört aber, nach den Untersuchungen von Friedrich Schulz (26), ebenfalls zur Gruppe der Histone. Sehr auffallend ist es indessen, dass nur der Excremente- und einigermaassen auch der Darmfarbstoff durch Kohlensäure niedergeschlagen wird, während der Schuppenfarbstoff unverändert in Lösung bleibt.

Die Salzfällungsverhältnisse unseres Farbstoffs, und zwar sowohl des Excremente- und Darmfarbstoffs wie auch des Schuppenpigments, sprechen andererseits wieder sehr deutlich für seine Albumosennatur. Während Histone schon durch verdünnte Salzlösungen niedergeschlagen werden, gelingt eine Fällung der Albumosen und ebenso des Farbstoffs nur durch sehr concentrirte Salzlösungen. Ferner werden Histone bei Zusatz von Chlornatrium in der Hitze gefällt, während die Lösungen des rothen Vanessenpigmentes weder ohne noch mit Salzzusatz in der Hitze coagulirbar sind. Auch dieses Verhalten zeigt, um wie viel näher der Eiweisskörper des Farbstoffs den primären Albumosen steht wie den Histonen. Seiner chemischen Natur nach wäre somit der dem rothen Vanessenpigment zu Grunde liegende Eiweisskörper als ein Zwischenproduct hydrolytischer Spaltung eines Proteïns zu betrachten, eine Folgerung, für deren Richtigkeit mir auch schon die Bildungsstätte des Farbstoffs, der Insectendarm, zu sprechen scheint. Von allen hierher gehörenden Producten der Verdauung unterscheidet sich aber das Vanessenpigment durch eine ausserordentlich grosse Verwandtschaft zum Sauerstoff, durch das Vermögen, diesen locker zu binden und leicht wieder abgeben zu können. Diese Fähigkeit, die allerdings in so hervorragender Weise nur dem Haut-, Darm- und Excrementefarbstoff zukommt, dem Schuppenfarbstoff indessen abgeht, bringen ihn den respiratorischen Pigmenten nahe, die selbst Eiweisskörper sind oder denen wenigstens ein solcher zu Grunde liegt.

Wenn wir uns fragen, welchem der respiratorischen Pigmente unser Farbstoff wohl am nächsten steht, so werden wir in erster Linie berücksichtigen müssen, dass die Bildung von Berlinerblau bei Zusatz von Ferrocyankalium und Salzsäure zur Farbstofflösung oder zu der durch Salzsäure gelösten Asche des Farbstoffs die Gegenwart eines Ferrisalzes anzeigt. Der Farbstoff wäre danach eisenhaltig, und wir werden als Vergleichsobjecte vor Allem eisenhaltige

respiratorische Pigmente heranziehen müssen. Am weitesten verbreitet ist unter diesen das Hämoglobin nicht nur als Blutfarbstoff der Wirbelthiere, sondern, wie zahlreiche Untersuchungen dargethan haben, auch als färbende Substanz im Blut und den Körpergeweben innerhalb aller Classen der Wirbellosen. Das Hämoglobin wird als Sauerstoffträger angetroffen bei den Echinodermen, den Würmern, Molusken, Insecten und Crustaceen, und ebenso spielen die Derivate des Hämoglobins, das Hämatin und Hämatoporphyrin, eine grosse Rolle als Hautfarbstoffe bei allen niederen Thieren. Das Hämatin, die färbende Compomente des Hämoglobins, findet sich z. B. in den Geweben verschiedener Seerosen, man trifft es im Integument von Seesternen, zusammen mit Hämatoporphyrin, einem Spaltungsproduct des Hämatins, das ebenfalls bei zahlreichen Corallen, Actinien, Hydropolypen und Quallen gefunden worden ist und auch die Farbe des rothen Rückenstreifens beim Regenwurm sowie die bräunliche Hautfarbe verschiedener Limaxarten bedingt.

Identisch mit Hämoglobin ist das rothe Pigment der Vanessen keinen Falls, was schon mit Sicherheit aus seinem spectralen Verhalten hervorgeht. Die Bänder des Hämoglobins liegen im grünen Theil des Spectrums, das stärkste Absorptionsband des Vanessenpigments findet sich im Blaugrün. Es lässt sich indessen nicht bestreiten, dass sich in dem Verhalten beider Farbstoffe dennoch einige Analogien finden. So ist bei beiden Pigmenten das Spectrum des reducirten Farbstoffes ein anderes wie das des oxydirten. Dementsprechend ändert sich auch die Farbe des rothen Pigmentextractes und des Blutes mit ihrem Sauerstoffgehalt, und endlich sehen wir bei beiden Pigmenten durch die Behandlung mit Säuren und Alkalien eine Trennung des Farbstoffs von seinem Eiweisskörper eintreten. Schliesslich sei noch erwähnt, dass ähnlich wie der Blutfarbstoff auch das Vanessenpigment mit Eisessig und Kochsalz in der Wärme schwarze bis rothbraune, zum Theil, wie mir scheint, rhombisch gebaute Zersetzungsproducte liefert, die in ihrer äusseren Erscheinung lebhaft an Häminschollen erinnern. Für eine Beziehung zum Blutfarbstoff spricht ferner in sehr auffälliger Weise das positive Ergebniss der Gmelin'schen Reaction und das Urobilinspectrum des Vanessenpigmentes. Die erstere zeigt uns unzweideutig die Gegenwart eines dem Gallenpigment ähnlichen oder mit ihm

identischen Farbstoffs an, das letztere die Anwesenheit von Harnfarbstoff. Gallenfarbstoff und Urobilin haben sich aber beide als Abkömmlinge des Blutfarbstoffs erwiesen.

Von anderen eisenhaltigen respiratorischen Pigmenten, deren Vorkommen bei Wirbelthieren beobachtet wurde, ist das grüne Chlorocruorin und das hellrosa gefärbte Hämerythrin im Blute der Würmer zu erwähnen (10a). Von diesen hat das Chlorocruorin ein charakteristisches Spectrum, das sich mit dem Sauerstoffgehalt des Blutes ändert. Die Streifen des Oxychlorocruorin liegen zwischen den Linien *C—D* und *D—E*. Reducirende Agentien, wie Schwefelammonium oder Eisenvitriol unter Zusatz von Weinsäure und Ammoniak, verwandeln das Spectrum derart, dass nur ein Streifen übrig bleibt, der in seiner Lage dem zwischen *C—D* gelegenen des Oxychlorocruorins entspricht. Auf weiteren Zusatz von Schwefelammonium erscheint ein dem reducirten Chlorocruorin entsprechendes Band; auch dieses verschwindet allmählich, und es treten zwei Bänder auf, die nach Lankester (27) in ihrer Lage vollständig den Bändern des reducirten Hämatins von Stokes entsprechen. Es ergibt sich daraus der interessante Schluss, dass das Chlorocruorin eine dem Hämoglobin verwandte Substanz sei, da es gelingt, beide in dasselbe Spaltungsproduct umzuwandeln. Diese Beobachtung Lankester's wird durch Griffiths bestätigt, der angibt, das Chlorocruorin werde durch Säuren und Alkalien in Eiweiss, Hämatin und Fettsäuren gespalten.

Das Hämerythrin ist an Blutzellen gebunden und gibt zum Unterschied von Hämoglobin und Chlorocruorin kein charakteristisches Absorptionsspectrum. Die hämerythrinhaltige Blutflüssigkeit färbt sich mit Luft geschüttelt tiefroth, und dieser Farbenwechsel tritt noch schneller ein, wenn das Blut mit reinem Sauerstoff in Berührung kommt. Die tiefrothe Flüssigkeit entfärbt sich dagegen innerhalb weniger Minuten, wenn sie mit Kohlensäure geschüttelt wird. Der Sauerstoff ist im Hämerythrin fester gebunden wie im Hämoglobin, was aus folgendem Versuch hervorgeht: Krukenberg mischte in einem gut verschlossenen Gefäss mit Sauerstoff gesättigtes, mit Wasser verdünntes Sperlingsblut mit dem rothen Bodensatz aus Sipunculusblut; wie die spectroskopische Untersuchung lehrte, war bereits nach drei Stunden das Oxyhämoglobin vollständig reducirt. Die Sipunculuszellen hatten dagegen noch nach sieben Stunden ihr Aussehen nicht geändert, also offenbar ihren Sauerstoff behalten. Derselbe

Forscher brachte einige lebende Exemplare von Sipunculus in ein bis unter den Stöpsel mit Meerwasser gefülltes Gefäss und setzte dem Wasser etwas Sperlingsblut zu; bereits nach wenigen Stunden war das Oxyhämoglobin verschwunden, aber noch nach 16 Stunden lebten die Würmer und reagirten mit Bewegungen auf Lageveränderungen des Gefässes. Es ergibt sich daraus, dass die Würmer ihren Sauerstoffbedarf auf Kosten von sauerstoffhaltigen Substanzen ihrer Umgebung decken, dass aber, wo solche fehlen, der Sauerstoffbedarf durch Spaltung von Reservesubstanzen ihres Körpers gedeckt werden kann.

So viel uns demnach von der Natur des Chlorocruorins und Hämerythrins bekannt ist, besteht wohl in der physiologischen Rolle, welche diese beiden Pigmente und der Vanessenfarbstoff im Organismus ihrer Träger spielen, eine gewisse Aehnlichkeit, wenn sie auch in ihrem sonstigen Verhalten nicht näher zusammen verwandt sind wie Vanessenpigment und Hämoglobin. Es ist auch hier besonders das Lichtabsorptionsvermögen, welches das Chlorocruorin und Hämerythrin vom rothen Farbstoff der Vanessen erheblich unterscheidet. Ferner wird, wie wir sahen, beim Hämerythrin Entfärbung durch Reduction (Schütteln mit Kohlensäure), beim Vanessenfarbstoff dasselbe durch Oxydation erreicht. Auch gegenüber dem Oxyhämoglobin verhält sich das Vanessenpigment etwas anders wie das Hämerythrin. Die Lösung des rothen Schmetterlingsfarbstoffs bewirkt wohl, wenn sie in eine Blutlösung eingetragen wird, ein Verschwinden des zweiten Absorptionsbandes der Blutlösung; statt des Spectrums des reducirten Hämoglobins tritt indessen das dem Farbstoff identische Urobilinspectrum auf. Ausserdem wirken die beiden Farbstoffe fällend aufeinander ein.

Nachdem wir gesehen haben, dass der rothe Farbstoff der Vanessen mit keinem der bekannten respiratorischen Pigmente identisch ist, werden wir zu untersuchen haben, ob vielleicht die in den Schuppen vorkommende Modification des Farbstoffs irgend welche Beziehung hat mit den bei Wirbelthieren und Wirbellosen bekannten Farbstoffen des Integumentes. Am weitesten verbreitet finden sich wohl die lipochromartigen Pigmente, da aber der Schuppenfarbstoff andere Löslichkeitsverhältnisse hat wie diese Fettfarbstoffe, so werden wir in erster Linie die ebenfalls sehr weit verbreiteten Integumentfarbstoffe der Hämatinreihe zum Vergleich heran-

ziehen. Spectrum und Reactionen unseres Farbstoffes haben gezeigt, dass wir es weder mit dem bei Wirbellosen häufig in der Haut vorkommenden Hämatin noch mit dem Hämatoporphyrin zu thun haben. Charakteristische Aehnlichkeiten fanden sich dagegen zwischen dem Vanessenpigment und dem Harn- und Gallenfarbstoff, und nicht nur das spectrale Verhalten, auch die Ergebnisse der Chlorzinkammoniakreaction und der Gmelin'schen Reaction zwingen uns, das rothe Vanessenpigment dieser Gruppe von Farbstoffen einzureihen.

Da Harn- und Gallenfarbstoffe im Wirbelthierkörper als Spaltungsproducte des Blutfarbstoffes auftreten, so muss es befremden, hier im Insectenorganismus ganz ähnliche Pigmente entstehen zu sehen, ohne die Anwesenheit einer dem Hämoglobin bezw. dem Hämatin identischen Muttersubstanz nachweisen zu können. Die Ergebnisse der vergleichenden Physiologie zeigen uns indessen, dass nicht nur dem Gallen- und Harnfarbstoff ähnliche Spaltungsproducte des Hämatins, sondern dass selbst das Hämatoporphyrin und die Myohämatine in den Geweben erscheinen, ohne dass im Blute dieser Thiere Hämoglobin nachweisbar ist. So fand sich z. B. Biliverdin als Farbstoff in den Schalen mancher Haliotis-, Turbo- und Trochusarten, und Dor extrahirte dem Tegument rother Limaxarten einen rothen Farbstoff, der das Absorptionsspectrum und den Dichroismus des Urobilins haben soll. v. Fürth (10a) bestreitet die Identität dieses rothen Pigments mit Urobilin aus dem Grund, weil das rothe Pigment wasserlöslich sei. Dieses Argument dürfte uns auch bei Beurtheilung der chemischen Natur des Vanessenpigments zur Vorsicht mahnen, denn auch das Vanessenpigment ist wasserlöslich, während reines Urobilin nur von Chloroform, Alkohol, Aether und angesäuertem Wasser aufgenommen wird. Mit reinem Urobilin haben wir es auch in dem gegebenen Fall keineswegs zu thun, denn wie die Untersuchung zeigt, handelt es sich um einen Farbstoff, der an einen Eiweisskörper gebunden ist, in ähnlicher Weise offenbar wie im Hämoglobin das Hämatin an das Globin. Auch das Hämatin verliert seine Wasserlöslichkeit, sobald es von seinem Eiweisskörper getrennt wird. Wie die färbende Componente des Blutfarbstoffes, so kann auch das rothe Pigment der Vanessen durch salzsauren Alkohol von seinem Eiweisskörper geschieden werden. Der Farbstoff, der vorher wasserlöslich war, ist jetzt in Alkohol löslich

geworden. Eine ähnliche Trennung vollzieht sich in dem in den Schuppen des Schmetterlings abgelagerten rothen und gelben Pigment. Wir sehen aus allen Reactionen, wie in den Schuppen die Eiweissnatur der Pigmente zurücktritt, und wie sich diese Farbstoffe gleichzeitig gerade in ihrem Löslichkeits- bezw. in ihrem Fällungsverhältniss im Vergleich zum Darm- und Excrementefarbstoff verändern.

Der Farbstoff, der vorher durch Alkohol aus seiner wässrigen Lösung ausgefällt werden konnte, geht jetzt, wenigstens grösstentheils, in den Alkohol über. Ich glaube daraus schliessen zu können, dass die Wasserlöslichkeit der rothen Vanessenpigmente die Anwesenheit eines urobilinartigen Körpers durchaus nicht ausschliesst, dass sie vielmehr nur dafür spricht, dass es sich nicht um reinen, sondern um einen an Eiweiss gebundenen Farbstoff handelt, der, wie wir sehen, sowohl die Eigenschaften des Harnfarbstoffs wie auch die des Gallenfarbstoffs zeigt.

II. Function und Entstehung der rothen Vanessenpigmente.

Die Schuppenpigmente der Schmetterlinge werden wohl allgemein als Excretionsproducte angesehen. Einmal wurde diese Ansicht dadurch gestützt, dass Hopkins (14) und Griffiths (12) die färbende Substanz in den Schuppen der Pieriden auf harnsäureartige Körper zurückführten, noch mehr aber schien hierfür die Thatsache zu sprechen, dass, wie Hopkins und Urech (29) beobachtet hatten, die Farbstoffe im Urin des auskriechenden Schmetterlings mit den der Flügelschuppen des Falters in der Mehrzahl der Fälle grosse Aehnlichkeit zeigten.

Als Bildungsstätte der Farbstoffe betrachtete Urech, wie Eingangs erwähnt, einerseits die Schuppenzellen, andererseits die Malpighi'schen Gefässe, und er nahm an, dass hier wie dort dasselbe Chromogen Ursache der farbigen Abscheidung würde. Zu einem Theil nach aussen abgestossen, zum anderen in den chitinisirten Epidermisgebilden der Körperoberfläche eingelagert, schienen die Farbstoffe von einer activen Rolle im Haushalt des Organismus so gut wie ausgeschlossen zu sein. Nur in den Augen der Selectionstheoretiker war ihnen noch einige Bedeutung zuerkannt, da die Farben dem glücklichen Träger zum Schutz und Trutz, als Schmuck und zur Verkleidung dienen sollten.

Ganz anders gestaltet sich die Bedeutung der Farbstoffe für

den Organismus des Schmetterlings, wenn wir die Pigmente in ihren verschiedenen Modificationen untersuchen, wenn wir ihre Bildungsweise verfolgen, und sehen, wie sie im Darmkanal als Umwandlungsproducte der aufgenommenen Nahrung entstehen, wie sie vom Blut aufgenommen in die verschiedenen Regionen des Körpers verschleppt und in den Geweben abgelagert werden.

Dass die aufgenommenen Pflanzenfarbstoffe an der Färbung der Insecten betheiligt sind, hat uns Poulton (23), wie schon erwähnt, durch das Experiment bewiesen. Er war sich auch bereits vollkommen klar darüber, auf welchem Wege das Chlorophyll in die Epidermis der Insecten gelange. Er sagt: „Bevor das Chlorophyll in das Blut übergeht, erfährt es wesentliche Veränderungen. Der grüne Farbstoff gelangt dann aus dem Blut in die Zellen der Körperoberfläche vieler Raupen, geht jedoch bei der Verpuppung wieder in das Blut über. Bei manchen Arten dient er dann zur Färbung der Eier und gelangt so schliesslich in den Körper der jungen Larven, denen die grüne Färbung nach dem Ausschlüpfen zum Schutz dient, bevor sie noch Zeit gehabt haben, frisches Chlorophyll aus den Blättern aufzunehmen."

Ray-Lankester (17) betont, dass aus den spectroskopischen Beobachtungen Poulton's mit Sicherheit hervorgeht, dass das grüne Pigment im Blut nicht unverändertes Chlorophyll sei. Auch Chantard (5) sagt, das Grün der Cantharidenflügel lasse sich spectroskopisch nicht mit Chlorophyll identificiren, wiewohl im Darmcanal solches nachzuweisen sei. Lankester hält auch den Schluss, dass es sich in dem grünen Blut- oder Epidermisfarbstoff um ein Chlorophyllderivat handle, nicht eher für erlaubt, als bis nachgewiesen wird, dass thatsächlich das pflanzliche Chlorophyll durch die Vorgänge im Verdauungscanal in der Weise verändert werde, dass eine Substanz daraus entstehe von dem Verhalten des grünen Farbstoffs. „Man müsste zeigen," sagt Lankester wörtlich, „dass diesem Pigment die Fähigkeit zukommt, aus dem Digestionstracte in das Blut hineinzudiffundiren." Wir werden aus dem Folgenden ersehen, dass der Einwurf Lankester's berechtigt ist. Das Chlorophyll erleidet im Darm eine Veränderung, und dieses umgewandelte Chlorophyll wird von den Darmepithelien resorbirt und von den Körpersäften aufgenommen, wie es auch Poulton beschrieben hat. Wie diese Umwandlungs- und Resorptionsprocesse verlaufen, werden wir aus den nachstehenden Ausführungen entnehmen können.

Es wurde schon wiederholt darauf hingewiesen, dass der Darm der fressenden Raupe neben den Blattüberresten der Nahrung Chlorophyll in alkalischer Lösung enthält, dessen Spectrum mit demjenigen einer frischen, alkoholischen Chlorophylllösung sehr gut übereinstimmt. Wir können uns nun an jedem frischen Zupfpräparat des Insectendarmes davon überzeugen, dass die grüne Flüssigkeit, das im Darm gelöste Chlorophyll, in die Darmepithelzellen eindringt und diesem eine intensiv grüne Färbung verleiht. Unter dem Spectroskop zeigt es sich indessen, dass die Chlorophylllösung durch diesen Resorptionsprocess eine Veränderung erfahren hat; die Darmepithelzellen zeigen nämlich nur noch das erste, für das Chlorophyllspectrum charakteristische im Roth gelegene Absorptionsband, und dieses Absorptionsband ist einem Spaltungsproduct des Chlorophylls, dem Chlorophyllan, eigenthümlich. Im übrigen Theil des Spectrums beobachtet man statt der Chlorophyllbänder eine schwächere Absorption im Gelb bei *D* und im Blaugrün zwischen den Linien *b* und *F*. Das Spectrum des resorbirten grünen Farbstoffs nähert sich somit dem Absorptionsbild des rothen Pigments, ist aber von diesem noch deutlich durch das Chlorophyllanband unterschieden. Es ist somit sicher, dass das im Darmcanal in Lösung befindliche Chlorophyll bei seiner Aufnahme in die resorbirenden Zellen des Darmepithels eine Zersetzung erleidet, und es ist anzunehmen, dass es auch von Poulton in dieser verwandelten Form in dem Blut und in den Geweben der äusseren Haut bei Raupen und Schmetterlingen aufgefunden worden ist. Solange das Chlorophyllanband in einem thierischen Pigment erhalten bleibt, ist die Ableitung desselben von einem Pflanzenfarbstoff, vom Chlorophyll oder seinen Spaltungsproducten gegeben. Schwieriger ist es, eine derartige Beziehung aufzustellen, wenn dieser charakteristische Hinweis fehlt. So schien mir z. B. die Verwandlung der bei der Raupe grün gefärbten Darmepithelien in die rothen der Puppe durch eine Ueberführung des grünen Farbstoffs in ein rothes Pigment bedingt zu sein und auf einer weiteren Zersetzung des aus dem Chlorophyll hervorgegangenen Chlorophyllans zu beruhen. Diese Annahme hatte viel Wahrscheinliches, war aber durchaus nicht nothwendig, denn ebensogut konnte das rothe Pigment ein selbstständig aus der chromogenen Gruppe des Eiweiss der Epithelzelle hervorgegangener Farbstoff sein. Diese Zweifel über den Ursprung des rothen Pig-

ments wurden aber dadurch zerstreut, dass mich ein glücklicher Zufall in den Besitz von Präparaten setzte, auf denen der Uebergang des grünen Farbstoffs in rothen nicht nur in den Darmepithelien, sondern, was für die Frage viel wichtiger ist, in den Pflanzenzellen selbst zu beobachten war. Es zeigte sich, wie wir sehen werden, ganz unzweideutig, dass thatsächlich das Chlorophyll als Muttersubstanz des rothen Pigments zu betrachten ist. Ich hatte vor zwei Jahren Darmpräparate von Vanessenraupen angefertigt und in Glyceringelatine conservirt. Die Raupen befanden sich noch alle im Stadium, in dem sie Nahrung aufnehmen; ich hatte sie indessen verschieden lang hungern lassen, um zu sehen, ob vielleicht auch bei jüngeren Raupen der leere Darm rothen Farbstoff producire. Meine Erwartungen wurden insofern getäuscht, als die Raupen ihren Darm überhaupt nicht entleerten. Das Darmlumen blieb mit Speiseresten erfüllt, die aber allerdings, wie die mikroskopische Untersuchung lehrte, viel besser ausgenützt waren, als dies bei der gefütterten Raupe der Fall ist. Das Darmepithel bot dasselbe Bild dar wie dasjenige einer gefütterten Raupe. Seine Zellen waren mehr oder weniger grün gefärbt, zum Theil bis zu ihrem ersten Drittel von Chlorophylltröpfchen erfüllt. Auch die Tracheen, wenigstens die zwischen die Darmepithelzellen eindringenden, waren im grünen Saft eingebettet, der unter dem Spectroskop das Chlorophyllanband zeigte.

In den Pflanzenzellen waren viele Chlorophyllkörperchen unter dem Einfluss der verdauenden Enzyme theils in feine grüne Körnchen zerfallen, theils in eine orangegelbe oder orangerothe Masse verwandelt, die den ebenso gefärbten Einschlüssen der Darmepithelien vollkommen ähnlich waren. Nachdem das Präparat einen Tag in Glyceringelatine gelegen hatte, zeigten sich die orangefarbigen Körnchen des Darmepithels und der Blattzellen zum Theil in Krystalle verwandelt und bildeten gelbe und gelbroth gefärbte Nadeln und zum Theil auch klinorhombische Täfelchen, die lebhaft an die von Hansen beschriebenen Krystalle des gelben Chlorophyllfarbstoffs erinnern, oder etwa mit Carotin- oder Hämatoïdinkrystallen zu vergleichen sind. Die Krystalle waren jetzt noch vereinzelt. Als ich aber nach Verlauf von zwei Jahren im vergangenen Sommer die erwähnte Serie von Darmpräparaten einer wiederholten Durchsicht unterzog, fand ich zu meinem grossen Erstaunen, dass sich sowohl in dem Darmepithel wie auch in den Pflanzenzellen sehr viel mehr rother Farbstoff gebildet hatte, was ich mir dadurch

erkläre, dass in der Glyceringelatine die verdauenden Enzyme erhalten geblieben waren und ihre spaltende Wirkung weiter bethätigt hatten. Auf diesen Präparaten lässt es sich verfolgen, wie sich aus den Trümmern des Chlorophyllkorns Farbstoffe bilden, die durch eine Reihe von Zwischenstufen hindurch vom grüngelben Körnchen bis zur schön ausgebildeten carminrothen Krystalldruse führen. Die Umwandlung geht in folgender Weise vor sich: Das Chlorophyllkorn zerfällt in grüne tröpfchenförmige Gebilde. Diese werden missfarbig und verwandeln sich entweder ganz oder theilweise in eine amorphe zuerst gelbe, dann carminrothe Masse, oder aber es bilden sich in diesen Tröpfchen feine Krystallnadeln, die oft deutlich klinorhombischen Bau zeigen. In vielen Pflanzenzellen blieb die Form des Chlorophyllkornes, das dann auch meistens noch grünen Farbstoff enthielt, erhalten; diese Körner erscheinen nun von den rothen Farbstoffkrystallen oft wie gespickt. In anderen Chlorophyllkörnern ist der rothe Farbstoff amorph eingelagert, wieder in anderen Pflanzenzellen liegen statt der Chlorophyllkörner nur noch grössere oder kleinere Drusen schön ausgebildeter carminrother Krystalle.

Wo nun die Chlorophyllkörner diese Umwandlung in rothe und gelbe Farbstoffe nur zu kleinerem Theil erfahren haben, zeigen sie überall ganz deutlich das Absorptionsspectrum, des Chlorophyllans. Dort aber, wo die Verfärbung allgemeiner geworden ist, beobachten wir ein ganz anderes Absorptionsspectrum und zwar dasjenige des rothen Vanessenfarbstoffs. Es ist wohl kaum möglich, ein schöneres Beispiel zu finden, wie sich die Umwandlung eines pflanzlichen Pigments in einen thierischen Farbstoff vollzieht, der sowohl durch sein Aussehen und seine Krystallform wie auch durch eine ausgesprochene Lichtabsorption charakterisirt ist. Es wird sich nun fragen, ob sich an der Bildung des rothen Farbstoffs nur die rothen und gelben Componenten des Pflanzenfarbstoffs betheiligen, oder ob auch der grüne Farbstoff, ja, sogar das Eiweissgerüst des Chlorophyllkorns in diese Verwandlung einbezogen wird. Ich habe keinen Grund, an einer Metamorphose des ganzen Chlorophyllkorns zu zweifeln, und es scheint mir nicht unwahrscheinlich, dass der rothe Farbstoff seine Eiweisscomponente von dem Eiweissgerüst des Chlorophyllkorns abzuleiten hat. Was sich hier im Präparat innerhalb der Pflanzenzelle vollzieht, die Umwandlung des grünen in rothen Farb-

stoff, erfolgt für gewöhnlich, d. h. so lange die Raupe noch Nahrung aufnimmt, zum Theil im Darm-, zum Theil im Hautepithel, zum Theil im Blut, denn alle Säfte und Gewebe enthalten die grüne oder grüngelbe Muttersubstanz des Pigments, das, wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, durch Subtraction oder Addition von Sauerstoff die verschiedensten Färbungen annehmen kann. Die beschriebene Metamorphose des Chlorophylls scheint indessen an die Gegenwart ganz bestimmter Enzyme geknüpft zu sein. Wäre dies nicht der Fall und eine derartige Verwandlung des grünen Pflanzenfarbstoffs in dem Darm der Raupe Regel, so wäre es nicht zu verstehen, warum z. B. die Raupen des Nesselwicklers, die sich ebenso wie die Vanessenraupen von den Blättern der Brennnessel nähren, keinen oder nur sehr wenig rothen Farbstoff bilden. Die Thatsache aber, dass es Raupen gibt, die mit andern zusammen auf derselben Futterpflanze leben können, ohne sich, wie jene, in schön gefärbte Schmetterlinge zu verwandeln, hat immer wieder Veranlassung gegeben, eine Beziehung zwischen Pflanzen- und Thierfarbstoffen zu bestreiten. Man vergass, dass dieselben Substanzen im Organismus verschiedener Thiere verschieden verarbeitet werden, nach Maassgabe ihrer verschiedenartigen constitutionellen Veranlagung. So verwandelt sich z. B. das Chlorophyll im Darm der Raupe des vorhin erwähnten Brennnesselwicklers, Botys urticata, anstatt in einen rothen Körper, in olivgrüne Tropfen und Krystalle, die später braungelb werden und sich noch weiter in braunrothe bis braunschwarze Körnchen differenziren können. Dieser Umwandlung entsprechend zeigen die Schuppen dieses Schmetterlings nur gelbe und braune Farbentöne.

Die Entstehung andersfarbiger Producte aus dem grünen Chlorophyllkorn in der lebenden Pflanzenzelle beschreibt schon Trécul (28) (Compt. rend. tome 84 p. 89. 1879 a.). Er erwähnt, dass die Beobachtungen M. Mohls', der das Chlorophyll in rothe und orangefarbige Pigmente übergehen sah, und diejenigen Gautier's (11), der den Farbenwechsel auf Oxydationserscheinungen zurückführt, seine Beobachtungen vollkommen bestätigen. Er selbst beschreibt diesen Farbenwechsel in folgender Weise: „Non seulement des vésicules ou grains verts peuvent passer au bleu à l'orangé ou au rouge, mais encore des vésicules ou des cellules à contenue rose peuvent aussi passser au bleu. Ainsi aux approches de la maturité des fruits du solanum nigrum de nombreuses vésicules ou même

de grandes cellules sont remplies d'un liquide rose; plus tard ce liquide rose disparaît et est remplacé par de très petits granules bleues. (Annales des sciences naturelles. Série 1858. T. 110 p. 14). Il est fort remarquable que dans les cellules dont la couleur est passée du rose au bleu il peut naître encore des vésicules roses est aussi des vertes relativement grandes, qui sont alors mélées aux granulation bleues."

In neuerer Zeit wird eine derartige Bildung rother und rothbrauner Farbstoffe bei der Verdauung chlorophyllhaltiger Substanzen im Körper eines amöbenartigen Lebewesens, der Woronina glomerata, von W. Zopf (31 b) beschrieben. Die Woronina glomerata lebt als Parasit in Vaucheriaarten und nimmt die Plasmatheilchen, Chlorophyllkörner und Zellkerne ihres Wirthes, der Alge, durch Pseudopodien in sich auf. In Folge ihrer chlorophyllhaltigen Nahrung sind die Amöben mehr oder minder intensiv grün gefärbt. Zopf hat nun das Schicksal der aufgenommenen Nahrungsstoffe aufmerksam verfolgt und gefunden, dass dieselben bereits nach fünf Stunden eine starke Umwandlung erfahren hatten. Zopf schreibt hierüber: „Man sieht, dass das Chlorophyll fast vollständig verdaut und in kleine unregelmässig rundliche, rothbraune Körner umgewandelt ist, welche an der Oberfläche des Plasmakörpers bereits ausgestossen worden sind. Die allmähliche Umwandlung des Chlorophylls in zunächst schön rothe, dann rothbraune Körner oder Klümpchen lässt sich an allen den amöboiden Zuständen stets beobachten."

Es ist hier also ein ganz ähnlicher Vorgang beschrieben, wie er sich im Darm des Schmetterlings abspielt, wo sich das aufgenommene Chlorophyll wohl auch unter dem Einfluss verdauender Enzyme in gelbe, rothe und braune Pigmente verwandelt. Nach diesen Beobachtungen scheint es mir auch sehr wahrscheinlich zu sein, dass Stein (4) und Entz (4) im Recht sind, wenn sie die rothen und braunrothen Pigmente, die im Körper vieler Protozoën angetroffen werden, als Zersetzungsproducte der aufgenommenen Algenfarbstoffe ansehen. Auch die Beziehung der grünen Chlorophyllfärbung vieler Flagellaten zu den rothen Körperpigmenten der letzteren lässt sich auf Grund der geschilderten Chlorophyllmetamorphose im Amöben- und Insectenorganismus sehr wohl verstehen. Es wurde von verschiedenen Forschern beobachtet, dass die grüne Färbung mancher Flagellaten unter gewissen Umständen in

eine rothe überging. Ein solcher Farbenwechsel findet, wie Bütschli (4) erwähnt, namentlich bei Haematococcus und bei Euglena sanguinea statt. Es zeigte sich ausserdem, dass eine Rothfärbung grüner Flagellaten sehr häufig bei den ruhenden Zuständen dieser Thiere eintritt, einerlei, ob diese auf geschlechtlichem oder ungeschlechtlichem Wege entstanden sind. Die aus dem Ruhestand hervorgegangenen beweglichen Formen ergrünen erst ganz allmählich, und es ist daher nicht auszuschliessen, dass die Rothfärbung der Flagellaten als eine Folge vorhergegangener Ruhezustände aufzufassen ist. Immerhin, meint Bütschli, sei es auf Grund unserer heutigen Erfahrungen nicht abzuweisen, dass sich auch bewegliche grüne Formen unter gewissen Bedingungen roth färben. Interessant ist die Thatsache, dass die Umwandlung der grünen Körperpigmente bei Flagellaten hauptsächlich während des Ruhezustandes eintritt. Es erinnert dies lebhaft an das Auftreten der rothen Pigmente in den vorher grün gefärbten Darmzellen der zur Verpuppung sich anschickenden Raupe und in den grünlichgelben Epidermiszellen der Puppe. Trotzdem kann aus dieser gleichartigen Farbenmetamorphose nicht ohne Weiteres geschlossen werden, dass das rothe Protozoën- und Lepidopterenpigment von gleicher chemischer Beschaffenheit sei, selbst wenn wir annehmen, dass beide vom Chlorophyll abzuleiten sind und die gleiche färbende Componente enthalten. Eine Verschiedenartigkeit der beiden rothen Farbstoffe ist schon darin ausgesprochen, dass das Protozoënpigment wasserunlöslich ist, während der rothe Schmetterlingsfarbstoff vom Wasser aufgenommen wird. Dass dieser Unterschied indessen nicht zu hoch anzuschlagen ist, geht daraus hervor, dass von dem Vanessenpigment eine färbende Componente abgespalten werden kann, die durch Alkohol und Chloroform aufgenommen wird. Es scheint mir daher die Kluft, die den rothen Farbstoff der Schmetterlinge von den rothen Carotinen (zu denen das Protozoënpigment zu rechnen ist), trennt, vielleicht nicht ganz unüberbrückbar, um so mehr, da die Krystallform des Lepidopterenpigments, deren Lipocyaninreaction, das Lichtabsorptionsvermögen des Pigments und schliesslich auch noch sein Säurecharakter an Carotin erinnert. Wie sehr die Carotine durch die Beschaffenheit des Lösungsmittels in ihrer Löslichkeit beeinflusst werden können, zeigen uns die Versuche von M. Newbigin (10a), aus denen hervorgeht, dass das nicht wasserlösliche Crustaceorubin

der Krebse von Eiweisslösungen leicht aufgenommen wird, aus denen es wieder durch alle eiweissfällenden Mittel niedergeschlagen werden kann. Sollte es gelingen, die Identität der färbenden Componente des Carotins mit derjenigen des Vanessenpigments nachzuweisen, so wäre dies um so interessanter, weil sich damit auch die Carotine als den Gallen- und Harnfarbstoffen nahe verwandte Umwandlungsproducte des Chlorophylls erweisen würden.

Schon Gautier (11) hat das Chlorophyll für einen dem Bilirubin nahe verwandten Körper gehalten; seine diesbezüglichen Arbeiten sind jedoch, wie es scheint, vollkommen in Vergessenheit gerathen, da ihrer in keinen der neueren Arbeiten über Chlorophyll Erwähnung gethan wird; ich halte es desshalb nicht für überflüssig, das zusammenfassende Urtheil des französischen Forschers wörtlich zu citiren. Gautier schreibt: „Il résulte que la Chlorophylle doit être en réalité rapprochée de la bilirubine au point de vue de ses aptitudes, réactions et compositions élémentaires. Comme la bilirubine elle se dissout dans l'éther, le chloroforme, le pétrole, la sulfure de carbon, la benzine, et se dépose de ses solutions tantôt amorphe, tantôt crystallisée. Comme elle est enlevée à la plupart de ses solutions par le noire-animal et joue le rôle d'un acide faible donnant des sels insolubles avec toutes les autres bases. Commes les solutions alcalines de chlorophylle les solutions alcalines de bilirubine s'altèrent et s'oxydent très facilement sous l'influence de l'incitation lumineuse. Les deux substances donnent de nombreux dérivées colorants jaunes, verts, rouges et bruns. Je les ai constatées pour la chlorophylle que l'on peut faire successivement passer, comme la bilirubine du vert au jaune, au rouge, au brun, par soustraction ou addition d'oxygène. Enfin les deux colorants jouissent de la propriété de s'unir directement à l'hydrogène naissant."

Diese Auffassung Gautier's mochte damals als gewagte Hypothese erscheinen, heute wo die Forschungen Nencki's, Küster's und Zaleski's ganz unzweideutig auf chemischem Wege dargethan haben, wie nahe sich der grüne Pflanzenfarbstoff und der Blutfarbstoff stehen, kann das von Gautier beobachtete analoge Verhalten des Chlorophylls und des Bilirubins nicht weiter überraschen, um so weniger, als eine solche Beziehung zwischen Chlorophyll und einem dem Gallenfarbstoffe jedenfalls nahe stehenden Körper auch durch die Bildungsweise des rothen Vanessenfarbstoffs bestätigt wird. Ob wir in der färbenden Componente des

rothen Lepidopterenpigments wirklich ein Gemisch von echtem Gallen- und Harnfarbstoff vor uns haben, kann freilich nur die Elementaranalyse der Substanz und eine eingehende chemische Prüfung ihrer Derivate mit Sicherheit darthun, so viel steht aber jetzt schon fest: dass aus dem Chlorophyllkorn und ebenso aus dem vom Insectendarm resorbirten Chlorophyllan Spaltungsproducte hervorgehen, die in ihrer Krystallform, ihrem Absorptionsvermögen und allen wichtigen Reactionen mit den als Harn- und Gallenfarbstoffen bekannten Derivaten des Blutfarbstoffs sehr gut übereinstimmen.

Neu ist es allerdings, dass solche dem Bilirubin und Urobilin ähnlichen Pigmente an Eiweiss gebunden und eisenhaltig sind, und in dieser Verbindung ganz ausgesprochen die Fähigkeit besitzen, Sauerstoff locker zu binden, ihn leicht aufzunehmen und leicht wieder abzugeben.

Dass die Vanessenpigmente durch dieses Vermögen, Sauerstoff locker zu binden, befähigt sind, den Stoffwechsel zu unterhalten, ist, schon nach ihrer eigenthümlichen Vertheilung im Organismus der Insecten zu urtheilen, höchst wahrscheinlich. So sehen wir z. B. bei den Raupen der Vanessen die Farbstoffe, die sich durch ihre carminrothe Farbe nach dem Erhitzen leicht zu erkennen geben, überall da auftreten, wo die dichte Vertheilung der Tracheen auf eine besonders rege Athmung schliessen lässt: so in der äusseren Haut, in der Tracheenintima selbst, besonders in den Endstämmchen und Endzellen, in der Wandung des Rückengefässes, im Blut und in den Blutzellen, an den Insertionsstellen der Muskeln und endlich in den Genitalzellen. Der in den Schuppen des Schmetterlings eingelagerte Farbstoff hat wohl mit der Fähigkeit, den Sauerstoff der Luft nur locker zu binden, auch die Function eines respiratorischen Pigments verloren und scheint hier in der That, seines Eiweiss- und Zuckergehalts zum grossen Theil beraubt, die Rolle eines ausgenützten Spaltungsproductes des Stoffwechsels zu spielen. Dafür spricht die grössere Beständigkeit der Schuppenfarbstoffe gegen reducirende Mittel. Ammoniumsulfid, das in einer frischen Lösung des Darm- und Excrementefarbstoffs einen sofortigen Farbenwechsel zur Folge hat, muss auf Schuppenfarbstoffextract länger einwirken und in grösserer Quantität angewandt werden, um den gewünschten Erfolg zu erzielen. Ferner

sehen wir, dass ein Strom von Kohlensäure wohl den Darm- und Excrementefarbstoff, nicht aber das Schuppenpigment zu verfärben oder aus seiner Lösung zu fällen vermag. Der Sauerstoff ist also im Schuppenfarbstoff jedenfalls bedeutend fester gebunden wie im Pigment des Darmes und der Excremente.

In zweiter Linie wird es sich fragen, ob die Vanessenpigmente auch im Stande sind, Sauerstoff aufzuspeichern und ihn je nach Bedürfniss an die Gewebe abzugeben. Die Fähigkeit der Vanessenpuppen, längere Zeit in einer sauerstoffarmen Atmosphäre (Leuchtgas) ihr Leben fristen zu können, lässt darauf schliessen, dass sie in ihrem Körper eine Sauerstoffquelle besitzen, die sie auf kürzere Zeit jedenfalls von einer Sauerstoffzufuhr von aussen unabhängig macht; und da wir wissen, dass namentlich Darm- und Excrementepigment grosse Mengen von Sauerstoff zu binden vermögen, was schon aus der Entfärbung von Kaliumpermanganatlösungen hervorgeht, so halte ich es nicht für ausgeschlossen, dass die schwerer reducirbare grüne Modification des Pigmentes eine höhere Oxydationsstufe darstellt und unter gewissen Bedingungen dem Körper als Sauerstoffquelle dienen kann.

Die Metamorphose des rothen Vanessenpigmentes auf seiner Wanderung in die Schmetterlingsschuppen in einen eiweiss- und zuckerärmeren Körper beweist indessen auf das Bestimmteste, dass dem Farbstoff nicht nur die Eigenschaft zufällt, durch sein Sauerstoffbindungsvermögen die Athmung zu unterhalten, sondern dass er in seiner ursprünglichen Verbindung auch die Rolle eines Reservestoffs im Puppenorganismus spielt, wie es Biedermann für den braunen Darminhalt der Mehlkäferlarve dargethan hat. Für seinen Charakter als Reservenahrung schien mir auch zu sprechen, dass, wie schon angeführt wurde, die in den Schmetterlingspuppen parasitisch lebenden Fliegenlarven den rothen Darmfarbstoff ihrer Wirthe selbst als Nahrung benützen.

Wir sehen hieraus, dass die rothen Pigmente der Vanessen nicht ohne Weiteres als Auswurfstoffe bezeichnet werden dürfen. Im Gegentheil, es geht aus Allem hervor, dass ihnen, so lange sie sich in der lebenden Zelle befinden, so lange sie die Körpersäfte erfüllen, wichtige Functionen zur Unterhaltung des Stoffwechsels zukommen. Erst dann, wenn sie in der chitinisirten Schuppenhaut abgelagert werden, scheint ihre physiologische Rolle ausgespielt und

ihre Bedeutung keine andere mehr zu sein wie die des Harnfarbstoffs oder der Hautfarbstoffe höherer Thiere.

Es bleibt uns nur noch übrig, eine Erklärung der Vorgänge zu versuchen, die dem Farbenwechsel zu Grunde liegen, der sich in der Epidermis der anfänglich grün gefärbten Vanessenpuppe im Laufe ihrer Entwicklung vollzieht. Ein solcher Erklärungsversuch ist allerdings ein gewagtes Unternehmen, da die Physiologie des Puppenlebens noch sehr in Dunkel gehüllt ist. Einiges ist uns indessen durch die Untersuchung Urech's über den Stoffwechsel der Schmetterlingspuppe bekannt, und da diese Ergebnisse und die Resultate der Experimentalforschung Peyron's (16) über den Sauerstoffgehalt des Insectenkörpers die Schlussfolgerungen bestätigen, die sich aus dem experimentell erzielten Farbenwechsel der Pigmente ableiten lassen, so halte ich es nicht für ganz aussichtslos, an die Beantwortung dieser Fragen zu gehen.

Wir wissen durch die Untersuchungen Urech's, dass die Schmetterlingspuppen während ihrer ganzen Metamorphose an Gewicht abnehmen, dass aber diese Gewichtsabnahme gegen das Ende des Puppenzustandes procentualisch eine zunehmende ist. Ferner geht aus den Untersuchungen desselben Forschers hervor, dass sich die Gewichtsabnahme hauptsächlich auf die Ausscheidung von Kohlensäure und Wasser bezieht. Aus den Versuchen Peyron's an Melolontha hat sich ergeben, dass die Luft im Körper eines Insects um so reicher an Sauerstoff ist, je geringer die Lebensäusserungen des Insects sind. Die sich steigernde Gewichtsabnahme des Puppenkörpers, bei steigender CO_2-Abgabe, ist aber jedenfalls auf eine gesteigerte Lebensthätigkeit zu beziehen, und wir werden schliessen dürfen, dass bei gleichbleibender Sauerstoffaufnahme die Puppe bezw. deren Gewebe gegen Ende des Puppenzustandes sauerstoffärmer sein werden, wie sie es anfangs waren, um so mehr, wenn, was Reaumur[1]) angibt, richtig ist, dass die Puppen mit kurzer Puppenruhe, sobald die Puppenhülle erhärtet ist, nur noch mit

1) Reaumur stellte dies auf folgende Weise fest: Er tauchte die Puppen in verschiedenen Stadien der Entwicklung ein Mal mit dem Abdomen, das andere Mal mit dem Thorax in Oel, so dass im ersten Fall die Abdominalstigmen, im zweiten die Thoraxalstigmen verschlossen waren. Im ersten Versuch blieben die Puppen am Leben. Beim zweiten starben sie, wenn die Abdominalstigmen schon geschlossen waren. Mémoires pour servir à l'histoire des insectes, p. 76. 8. Mém.

den Thoraxalstigmen zu athmen vermögen. Wie verhalten sich nun die Vanessenfarbstoffe in der Zeit, in der, wie anzunehmen, die Gewebe immer ärmer an Sauerstoff werden? Wir haben gesehen, dass in der frischen Puppe die Epithelzellen mit den auch im Raupenepithel vorhandenen gelbgrünen Körnchen angefüllt sind. So lange die Puppenhülle noch weich ist, bleibt dieser Zustand bestehen, bei Sommerpuppen macht sich indessen oft schon nach zwei Tagen an einzelnen Stellen der Puppenhülle, namentlich auf den Dörnchen der Körpersegmente, eine röthliche Färbung bemerkbar. Diese Röthung der Puppenhülle nimmt immer mehr zu, und wenn wir dann das Körperepithel herauspräpariren, so finden wir, dass namentlich im Hinterleib die meisten Zellen mit carminrothen Pigmentkörnchen erfüllt sind. Verhältnissmässig spät tritt die rothe Färbung auch im Thorax und Flügelepithel auf, gerade also dort, wo durch die offenen Stigmen eine Communication mit der äusseren Luft erhalten bleibt. Diese allmähliche Verfärbung des Puppenepithels habe ich früher damit erklärt, dass ich annahm, es fände eine Verschleppung des rothen Darmfarbstoffs durch den Säftestrom und durch phagocythe Zellen statt, was in der That auch der Fall ist und auch auf Präparaten verfolgt werden kann. Ich habe indessen die Frage offen gelassen, ob sich daneben nicht auch aus den grünen und grüngelben Einlagerungen in den Epidermiszellen unter bestimmten Verhältnissen rothe Pigmente entwickeln können. Diese Möglichkeit hat sich inzwischen bestätigt, denn wenn die Puppen von V. urticae in siedendes Wasser geworfen, oder durch Chloroformdämpfe erstickt, oder durch Hitze getödtet werden, so entwickelt sich aus den gelben und grüngelben Granulationen der Epithelzellen carminrothes Pigment. Einen carminrothen Niederschlag bekommen wir aber auch aus der rothgelben oder rubinrothen Farbstofflösung, sobald wir Kohlensäure in dieselben einleiten oder Stoke's Reagens zusetzen. Alles lässt darauf schliessen, dass, wenn dem gelbgrünen Pigment der Sauerstoff entzogen wird, sich dasselbe in seine blaurothe Modification verwandelt. Ein solcher Reductionsprocess scheint sich nun bei der Puppe ganz allmählich zu vollziehen. Er beginnt im Hinterleib, der von der Sauerstoffquelle, den Thoracalstigmen, am Weitesten abgelegen ist, und setzt sich allmählich bis in den Thorax fort, wo die Pigmente schliesslich auch in den Flügeln erscheinen. Nun sehen wir aber, dass der Farbstoff, sobald er in den Schuppen auftritt, nicht mehr carminroth, sondern gelb oder braunroth gefärbt ist. Es

müssen also, da diese Färbung für alle dem Sauerstoff der Luft ausgesetzten Pigmentlösungen charakteristisch ist, neue Oxydationsvorgänge stattfinden. Günstige Bedingungen für O-Aufnahme sind gegeben, sobald die Puppenhülle sich zu lockern beginnt und zwischen sie und den Insectenkörper Luft eindringen kann. Diese Lockerung fällt ungefähr mit dem ersten Auftreten gelbrother Farben in den Schuppen zusammen, und die Bedingungen zur Sauerstoffaufnahme sind auch dadurch im Flügel sehr günstige, weil, wie sich leicht zeigen lässt, die Flügelmembran in dieser Periode der Puppenentwicklung durch feine Tracheen durchsetzt wird, deren Endigungen mit der zwischen Flügel und Puppenhülle eindringenden Luft in unmittelbarer Berührung stehen.

Dass in der That am Schluss der Puppenperiode sehr starke Oxydationsvorgänge zu verzeichnen sind, lehrt uns schon das Auftreten der schwarzen Schuppen, deren Ausfärbung wahrscheinlich auf dieselben Vorgänge zurückzuführen sein wird wie die melanotische Verfärbung des Insectenblutes. Die Melanose des Blutes vollzieht sich aber, wie v. Fürth und Schneider (10) gezeigt haben, durch Oxydation einer aromatischen Substanz bei Gegenwart eines Fermentes.

Es scheint mir nach dem, was wir heute über die Stoffwechselvorgänge, die sich in der Puppe vollziehen, wissen, und nach den experimentell geprüften Eigenschaften der Schuppenpigmente ziemlich sicher zu sein, dass die grünen, gelben und rothen Farbstoffe mit allen ihren Uebergängen nichts Anderes sind als die verschiedenen Oxydationsstufen eines dem Gallenfarbstoff verwandten Pigmentes. Ob auch die dunkeln, die braunschwarzen Pigmente mit den rothen in Beziehung stehen, das kann ich bis jetzt weder behaupten noch in Abrede stellen. Die Vorgänge im Darm von Botys urticata lassen mich indessen vermuthen, dass diese dunkeln, melanotischen Pigmente durch die Einwirkung eines Ferments unmittelbar aus braungrünen Substanzen mit dem Spectrum des Chlorophyllans hervorgehen.

Zusammenfassung.

Wenn wir die wesentlichsten Ergebnisse dieser Untersuchungen herausgreifen, so lassen sich in Bezug auf die Natur, die Function und die Entstehung des rothen Farbstoffs der Vanessen folgende Sätze aufstellen:

1. Das rothe bezw. rothgelbe Schuppenpigment der Vanessa io und urticae, von dem unsere Betrachtungen ausgegangen sind, stellt einen Farbstoff dar, der in verschieden gefärbten Modificationen sowohl im Körper der Puppe wie auch in den Gewebe der Raupe anzutreffen ist. Der Farbenton des Pigmentes ist von seinem Oxydationsgrad abhängig, und zwar beobachten wir bei fortschreitender Sauerstoffzufuhr eine Farbenfolge, wie sie auch bei den Gallenfarbstoffen beobachtet wird.

Der reducirte Farbstoff ist in Substanz carminroth, durch oxydirende Mittel wird er schliesslich in eine gelbgrüngraue Substanz verwandelt. In den Geweben der Raupe findet sich das Pigment in seiner oxydirten Modification, gelöst erscheint es im Blut, und in den Epithelzellen findet es sich in Form von grüngelben Körnchen. Die grüngelben Körnchen erfüllen gewöhnlich nur die der Körperoberfläche zugekehrten Theile der Epithelzellen, nach innen gehen sie in gelbe, gelbbraune und rothbraune Granula über, die leicht in die reducirte carminrothe Form übergeführt werden können. Auch die junge aus dem Ei kriechende Raupe ist erst grüngelb gefärbt; die rothbraunen Farbstoffe entwickeln sich bei ihr erst, nachdem sie das Nest verlassen hat und Nahrung zu sich nimmt, und zwar besonders auf den mit dickerer Chitinschicht bedeckten Thoraxtheilen. Aehnlich verhält sich die Puppe, in deren Epidermis unmittelbar nach der Verpuppung nur grüngelbe Tröpfchen zu finden sind. Die carminrothen Pigmente entstehen hier auch erst dann, nachdem die Puppenhülle erhärtet ist, was eine unmittelbare Berührung des Epithels mit dem Sauerstoff der Luft so gut wie ausschliesst. Das carminrothe Pigment der Schuppenzellen verwandelt sich in den Schuppen selbst in seine gelbrothe sauerstoffreichere Modification. Ausser durch oxydirende und reducirende Mittel wird der Vanessenfarbstoff auch noch durch das Licht und durch Wärme beeinflusst. Die chemischen Strahlen des Sonnenlichtes wirken wie oxydirende Agentien, die ihrem Einfluss ausgesetzten gelbbraunen Lösungen werden grünlichgrau.

Die Wärme wirkt erst verdunkelnd auf den Farbstoff ein, es treten in der Lösung ausgesprochen rothbraune Töne auf. Bleibt die Lösung indessen längere Zeit gleichmässiger Wärme ausgesetzt, so schwindet die intensivere Färbung, und sie gewinnt das Aussehen der am Licht stehenden Farbstoffauszüge.

2. Der Vanessenfarbstoff ist krystallisationsfähig. Den

Schuppenfarbstoff selbst habe ich nicht zum Krystallisiren gebracht, dagegen seine in den Schuppenzellen enthaltenen Vorstufen. Auch der Epidermisfarbstoff der Raupe und Puppe krystallisirt leicht, ebenso die Modificationen des Pigmentes, welche sich in dem Darm und in den Excrementen der Puppe vorfinden.

Die Krystalle stellen klinorhombische Plättchen dar. Diese Plättchen führen durch Uebergänge zu feinen Nadeln über, die oft federförmig verzweigt zu Drusen oder Doppelbüscheln vereinigt sind. Ihre Farbe ist gelbroth, zwiebelroth oder carminroth, daneben finden sich aber auch grüngelbe, ja selbst farblose Krystalle von ähnlicher Gestalt und übereinstimmendem optischen Verhalten. Ausser in wohl ausgebildeten Krystallen fällt der Farbstoff auch in unregelmässig begrenzten Platten aus, die zu dentritisch verzweigten Gebilden zusammentreten. Die Farbstoffkrystalle sind doppelbrechend und dichroitisch, sie erinnern sowohl in ihrer Krystallform wie auch in ihrem sonstigen Aussehen lebhaft an die Krystalle des Hämatoidins und des Bilirubins, mit dem das erstere wohl identisch ist.

3. Der rothe Farbstoff besitzt sowohl in Lösung wie auch in Substanz ein charakteristisches Absorptionsspectrum, das dem des Urobilins ähnlich ist. Dasselbe besteht aus einer Endabsorption des Ultraviolett, aus drei schmäleren Absorptionsbändern im Violett und Indigo und aus einem breiteren im Blaugrün zwischen *b* und *F* und eines besonders beim reducirten, carminrothen Farbstoff in Substanz sehr deutlichen Streifens bei *d*. Mittelst des Spectrooculars lassen sich nur die Absorptionen im Blaugrün und im Orange beobachten. Die schmäleren Bänder im Indigo und Violett kommen aber auf der photographischen Platte zum Vorschein und sind in schwefelsauren Lösungen des Pigments besonders deutlich. Für den reducirten Farbstoff ist eine sehr breite Endabsorption im Ultraviolett und Violett und das Verschwinden des Bandes im Blaugrün charakteristisch. Die oxydirte gelbgrüne Lösung des Farbstoffs hat ein Spectrum, in dem das Band bei *D* kaum sichtbar, aber sowohl die charakteristische Absorption im Blaugrün wie auch die im Indigo und Violett zu erkennen ist. Zusatz von Ammoniak bewirkt, dass das Band zwischen *b* und *F* scharf hervortritt, ähnlich wie bei Urobilinlösungen.

4. Gegen Lösungs- und Fällungsmittel verhält sich der Farbstoff wie ein Eiweisskörper. Ebenso zeigt er sehr deutlich die Millon-

sche Reaction und die Xanthoproteïnreaction. Da indessen durch salzsauren Alkohol eine Spaltung des Pigmentes in eine ungefärbte oder doch wenig gefärbte wasserlösliche und in eine gefärbte alkohollösliche Componente möglich ist, so muss angenommen werden, dass es sich in dem Vanessenfarbstoff um die Verbindung eines Eiweisskörpers mit einem Pigment handelt, ähnlich wie sie uns im Hämoglobin gegeben ist. Mit dem Hämoglobin hat der Farbstoff auch die Fähigkeit gemein, so lange er nicht in den Schuppen abgelagert ist, Sauerstoff locker binden und leicht wieder abgeben zu können. Der Schuppenfarbstoff hat diese Fähigkeit verloren; er kann geradeso wie Farbstofflösungen, die längere Zeit der Luft ausgesetzt waren, nur nach längerer Einwirkung reducirender Mittel seines Sauerstoffs beraubt werden. Die so reducirte Lösung oxydirt sehr schnell wieder, wenn sie der Luft ausgesetzt ist. Der Farbstoff scheint unter bestimmten Verhältnissen mit dem Sauerstoff eine ähnliche Verbindung einzugehen, wie sie das Methämoglobin darstellt.

Der Schuppenfarbstoff erscheint weniger eiweisshaltig wie seine den Geweben der Raupe und Puppe eingelagerten Vorstufen. Ich schliesse dies daraus, dass die Fällungsproducte des Schuppenfarbstoffs weniger voluminös sind, und dass er sich auch in hochconcentrirtem Alkohol in Lösung erhält.

5. Nach seinen Reactionen zu urtheilen, gehört der Eiweisskörper, an den der rothe Vanessenfarbstoff gebunden ist, in die Gruppe der Albumosen. Charakteristisch ist hierfür, dass der durch Salpetersäure bewirkte Niederschlag des Pigments in der Wärme löslich ist und in der Kälte wiederkehrt, dass dasselbe ferner durch concentrirte Salzlösungen gefällt werden kann, und dass auch Kupfersulfat einen Niederschlag hervorruft (primäre Albumosen). Eigenthümlich für diesen gefärbten Körper ist seine Fällbarkeit durch Kohlensäure, eine Eigenschaft, die er mit den Globulinen gemein hat. Aber auch hier unterscheidet sich der Schuppenfarbstoff vom übrigen Körperfarbstoff, derselbe wird nämlich durch Kohlensäure nicht niedergeschlagen. Fällung des Farbstoffs erzielen wir ferner durch Ammoniak, wenn derselbe in eine Salzsäurelösung des Pigments eingetragen wird; in dieser Reaction zeigt der Körper eine auffallende Aehnlichkeit mit den Histonen.

6. Die färbende Componente des Vanessenpigments ist eine Säure. Sie wird zum Theil von Chloroform aufgenommen und gibt

in diesem wie auch in anderen Lösungsmitteln die Gmelin'sche Reaction. Der Farbstoff dürfte danach dem Bilirubin nahe stehen, wofür auch seine Krystallform, sein optisches Verhalten und seine Farbe sprechen. Andererseits erinnert sein Absorptionsspectrum an Urobilin und Hydrobilirubin.

7. Das rothe Vanessenpigment enthält Eisen und freien Zucker.

8. Die Vertheilung der Farbstoffe im Organismus, das Auftreten verschieden pigmentirter Modificationen unter Verhältnissen, die mit Oxydations- und Reductionsvorgängen in Beziehung zu bringen sind, am meisten aber die Fähigkeit des Pigments, Sauerstoff locker zu binden, sprechen ihm eine respiratorische Function im Organismus zu.

Andererseits zeigt der Gehalt des Farbstoffs an Eiweiss und Zucker, noch mehr aber, dass dieser Nährstoffgehalt beim Wachsthum der Schuppenzellen verbraucht wird, dass das Pigment auch einige Bedeutung als Reservestoff besitzen muss.

9. Als Bildungsort der Vanessenfarbstoffe haben wir den Darm der Raupe, als Bildungsstoffe die mit der Nahrung aufgenommenen Pflanzenpigmente kennen gelernt. Es lässt sich an Präparaten verfolgen, wie im Darm der Raupe Chlorophyll gelöst, von den Darmzellen als Chlorophyllan resorbirt und unter bestimmten Bedingungen in einen rothen Farbstoff umgewandelt wird. Während des Raupenlebens geht der Farbstoff in seiner grüngelben Modification in die Gewebe über und wird unter normalen Verhältnissen erst in der Epidermis in farbige Producte verwandelt. Dass der Farbstoff thatsächlich aus dem Chlorophyllkorn stammt, lässt sich an der Hand von mikroskopischen Präparaten beweisen. Ich fand, dass in den Brennesselzellen, welche den Darminhalt hungernder Raupen bildeten, nach Verlauf von zwei Jahren die Chlorophyllkörner zum grossen Theil in Chlorophyllan und rothen Farbstoff verwandelt waren. Der rothe Farbstoff war theils amorph, theils wie der rothe Darmfarbstoff krystallisirt und zu schönen Drusen vereinigt. Die Präparate waren in Glyceringelatine eingeschlossen und im Dunkeln aufbewahrt worden. Die Bildung des rothen Farbstoffs geht mit einem Zerfall der Chlorophyllkörper Hand in Hand und kann von Stufe zu Stufe verfolgt werden. Es scheint dabei der ganze Chlorophyllkörper in den Farbstoff überzugehen. Farbe, Krystallform und spectrales Verhalten des in der

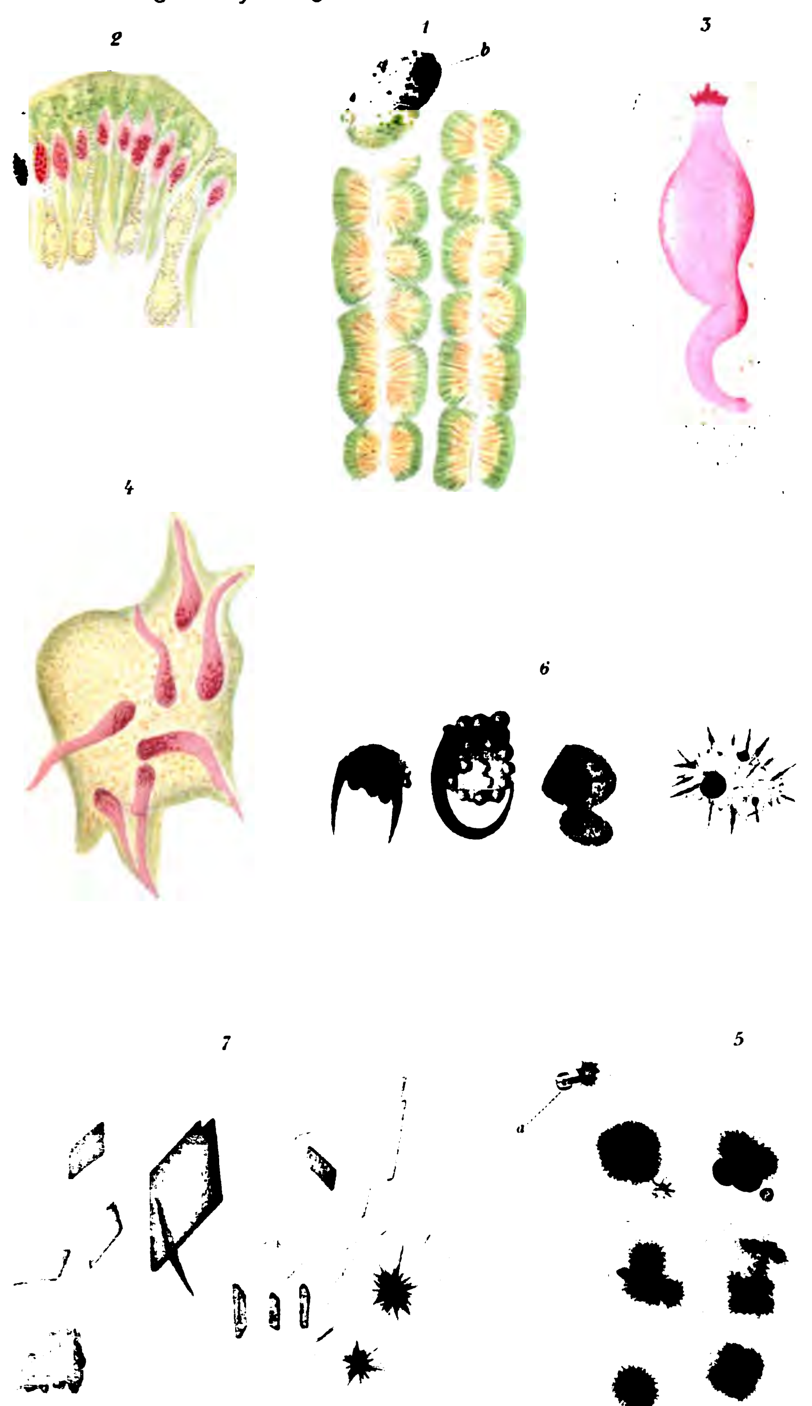
Pflanze gebildeten Farbstoffs entspricht vollkommen demjenigen des Vanessenfarbstoffs.

Diese Thatsachen bestätigen, was uns Pulton im Experiment zeigt, und was ich für die Flügelfarbstoffe der Schmetterlinge auch schon früher als wahrscheinlich bezeichnet habe, dass die epidermale Färbung dieser Insecten auf pflanzliche Pigmente zurückzuführen ist. Dieses Ergebniss ist um so interessanter, weil in diesem Fall der verwandelte Pflanzenfarbstoff auch im thierischen Organismus wieder respiratorische Functionen zu übernehmen scheint.

In gewissen Beziehungen bestätigen meine Befunde auch die Annahmen Urech's, wonach Schuppen- und Excrementefarbstoffe aus einem und demselben Chromogen hervorgehen sollen.

10. Die Eigenthümlichkeit des Vanessenfarbstoffs, unter dem Einfluss des Sauerstoffs der Luft verschiedene Färbungen annehmen zu können, lässt darauf schliessen, dass sich im Körper der Puppe abwechselnd Reductions- und Oxydationsvorgänge abspielen, die sich in der Färbung der Epidermis zu erkennen geben.

11. Mit den von Hopkins und Griffiths untersuchten Pieridenpigmenten ist der Vanessenfarbstoff nicht identisch. Während der von den erwähnten Forschern beschriebene Farbstoff der Harnsäure nahe stehen soll, hat der Vanessenfarbstoff den Charakter eines Eiweisspigments, dessen färbende Componente durch ihre Beziehungen zum Bilirubin und Urobilin einerseits, andererseits zum Chlorophyll und den Carotinen ein neues Glied darstellt in der Kette der pflanzlichen und thierischen Farbstoffe. Es wird sich schliesslich noch fragen, ist der rothe Farbstoff der Vanessen, dessen wesentliche Eigenschaften mitgetheilt wurden, mit einem der bekannten thierischen oder pflanzlichen Pigmente identisch, oder muss er als neues organisches Product einen neuen Namen erhalten? Ich habe gezeigt, dass das Pigment die wesentlichen Reactionen mit dem Gallen- und Harnfarbstoff gemein hat, und glaube berechtigt zu sein, dasselbe diesen beiden thierischen Pigmenten zunächst zuzustellen. Mit ihnen identificiren möchte ich es indessen nicht eher, als bis durch die Elementaranalyse dargethan werden kann, dass beide Stoffe auch wirklich dieselbe Zusammensetzung besitzen. Seiner Entstehung nach wird man geneigt sein, den Farbstoff zu den Carotinen zu stellen, und thatsächlich spricht das positive Resultat der Lipocyaninreaction, dass auch eine



Verlag von Emil Strauss, Bonn.

Lith. Anst. v. Werner & Winter, Frankfurt a/M.



Verwandtschaft mit diesen Pigmenten nicht abzustreiten ist. Diese Ueberlegung hat mich veranlasst, mit dem Carotin aus der Mohrrübe und mit dem Lipochrom in den Schuppen der Goldfische, welche ich beide in Chloroformlösung überführte, die Gmelin'sche Reaction anzustellen. Dieselbe fiel in beiden Fällen positiv aus, allerdings war der grüne Ring nicht so ausgesprochen wie beim Schmetterlingspigment und dem zur Controle verwendeten Gallenfarbstoff. Andererseits ergaben sich aus der Behandlung getrockneten Gallenfarbstoffs mit concentrirter Schwefelsäure blauschwarze Kryställchen auch dann, wenn ich den Gallenfarbstoff (Biliverdin aus der Gallenblase eines Goldfischs) zuerst mit Aether behandelt hatte, um vorhandenes Lutein zu entfernen. An eine Idendität des stickstoffhaltigen Gallenfarbstoffs und des stickstofffreien Lipochroms ist selbstverständlich nicht zu denken; sollten aber beide Körper in einem ähnlichen Verhältniss zusammen stehen wie das stickstoffhaltige Hämatin zur stickstofffreien Hämatinsäure? Darüber zu entscheiden ist Sache des Chemikers, und von der chemischen Untersuchung des Vanessenpigments erwarte ich auch die Antwort, ob die unendliche Fülle von Farbstoffnamen noch um einen vermehrt werden muss, oder nicht.

Literaturverzeichniss.

1) A. Adamkiewicz, Farbenreactionen des Albumin. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 9 S. 156. 1874.

1a) Bachmetjef, Experimentelle entomologische Studien. I. Band: Temperaturverhältnisse bei Insecten. W. Engelmann, Leipzig 1901.

2) van Bemmelen, Ueber die Entwicklung der Farben und Adern auf den Schmetterlingsflügeln. Tijdschrift der Nederlandsche Dierkundige Vereeniging 2. Serie Del II Aplevering 4.

3) W. Biedermann, Beiträge zur vergleichenden Physiologie der Verdauung. I. Die Verdauung der Larve von Tenebrio molitor. Arch f. d. ges. Physiol. Bd. 72 S. 105. 1898.

4) H. G. Bronn, Klassen und Ordnungen des Thierreichs. Bd. 1. Protozoa von Dr. O. Bütschli. Abth. III.

5) Chantard, Recherches sur le spectre de la Chlorophylle. Ann. de Chimie et Physiol. (5) t. 3 p. 53. 1874. Compt. rend. 1873.

6) F. H. P. Coste, Contributions to the chemistry of Insect colours. Entomologist: Vol. 24. Abstr. Journ. R. Mikrosk. Soc. of London 1891. p. 458—461.

6a) F. H. P. Coste, On Insect colours Nature vol. 45. 1892.

7) G. H. Th. Eimer, Artbildung und Verwandtschaft bei den Schmetterlingen I u. II. Gustav Fischer, Jena 1889—1895.

7a) Fabre, Étude sur le rôle du tissu adipeux dans la sécrétion urinaire chez les insectes. Ann. des sciences nat. 4. série t. 19 p. 351—382. 1862.

8) J. Frenzel, Einiges über den Mitteldarm der Insecten, sowie über Epithelregeneration. Arch. f. mik. Anat. Bd. 26 S. 229. 1886.

9) F. Friedmann, Ueber die Pigmentbildung in den Schmetterlingsflügeln. Arch. f. mik. Anat. und Entwicklungsgeschichte Bd. 54 Heft 1. 1899.

10) O. v. Fürth und H. Schneider, Ueber thierische Tyrosinasen und ihre Beziehungen zur Pigmentbildung. Beiträge zur chem. Physiol. und Pathol. Zeitschr. f. d. ges. Biochemie Bd. 1 Heft 5 u. 6. 1901.

10a) O. v. Fürth, Vergleichende chemische Physiologie der niederen Thiere. Gustav Fischer, Jena 1903.

11) Arm. Gautier, Sur la chlorophylle. Compt. rend. t. 89. 1879.

12) A. B. Griffiths, Recherches sur les couleurs de quelques Insectes Compt. rend. t. 115. 1892.

13) W. D. Halliburton, Lehrbuch der chmischen Physiologie und Pathologie. Uebersetzt von Dr. K. Kaiser. C. Winter, Heidelberg 1893.

14) F. G. Hopkins, Note on a yellow pigment in butterflies. Chem. News. vol. 60 p. 57. Proc. Chem. Soc. vol. 5 p. 117. 1889. Proc. roy. Soc. 57.

14a) F. G. Hopkins, Pigment in yellow butterflies. Nature vol. 40. p. 335. 1887.

14b) F. G. Hopkins, Pigments of Lepidoptera. Nature vol. 45. p. 581. 1892.

15) Ferd. Klug, Ueber Proteïnochrom. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 86 S. 194. 1899.

16) J. Kolbe, Einführung in die Kenntniss der Insecten 1893, S. 541. Ferd. Dümmler, Berlin.

17) E. Ray-Lankester, On the green pigment in the intestinal wall of the Annelid Chaetopterus. Quart. Journ. Microscop. Science vol. 40 p. 452—453. 1898.

18) F. Leydig, Pigmente der Hautdecke und der Iris. Verhandl. d. phys.-med. Gesellschaft zu Würzburg. N. F. Bd. 22. 1888.

19) M. v. Linden, Zusammenfassende Darstellung der experimentellen Ergebnisse über den Einfluss der Temperatur während der Puppenentwicklung auf die Gestaltung, Färbung und Zeichnung der Schmetterlinge. Die Vererbung erworbener Zeichnungscharaktere. Zool. Centralbl. 9 Jahrg. 1902, Nr. 19/20.

19a) M. v. Linden, Versuche über den Einfluss äusserer Verhältnisse auf die Gestaltung der Schmetterlinge. Illust. Zeitschr. f. Entomologie Bd. 4. 1899.

19b) Comtesse M. v. Linden, Les Dessin des ailes des Lépidopteres. Recherches sur son évolution dans l'ontogenèse et la phylogenèse des espèces, son origine et sa valeur systématique. Annales d. scienc. nat. Zool. 8e ser. t. 14. 1902.

20) A. Gold'sborough Mayer: I. The development of the wing scales and their pigment in butterflies and moths. — II. On the colour and colour-patterns of moths and butterflies. Cambridge Mass. U. S. A. June 1896. February 1897.

21) M. C. de Merejkowski, Sur la tétronérythrine dans le règne animal et sur son rôle physiologique. Compt. rend. t. 93 p. 1029. 1881.

22) F. W. Pavy, Die Physiologie der Kohlenhydrate. Ihre Verwendung als Nahrungsmittel und ihr Verhältniss zum Diabetes. Autorisirte deutsche Ausgabe von Dr. C. Grube. 1895. F. Deuticke, Leipzig und Wien.

23) E. B. Poulton, The experimental proof, that colours of certain lepidopterous Larvæ are largely due to modified plants pigments, derived from food. Proc. roy. Soc. t. 54. 1893.

24) M. de Réaumur: Mémoires pour servir à l'histoire des Insectes. 8. Mémoire p. 76. Amsterdam 1737.

25) Salkowski, Prakticum der physiologischen und pathologischen Chemie. Citirt nach Fr. N. Schulz, Die physiologische Farbstoffbildung beim höheren Thier. Ergeb. d. Physiol. 1. Jahrg. 1902.

26) Fr. N. Schulz, Die physiologische Farbstoffbildung beim höheren Thier. Ergeb. d. Physiologie. 1. Jahrg. 1902.

27) W. Spitzer, Weitere Beobachtungen über die oxydativen Leistungen thierischer Gewebe. Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. 71 S. 596. 1898.

28) A. Trécul, De la chlorophylle cristallisée. Compt. rend. t. 89 p. 883.

29) F. Urech, Ueber einen grünen Farbstoff in den Flügelchen der Chrysalide von Pieris brassicae. — Ueber die Eigenschaften der Schuppenpigmente einiger Lepidopterenspecies. Zool. Anzeiger. 15. Jahrg. S. 281—283 u. S. 299—306. 1892.

29a) F. Urech, Beiträge zur Kenntniss der Farbe von Insectenschuppen. I. Lepidopterenschuppen. II. Käferschuppen. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 57 S. 306—384. 1894.

29b) F. Urech, Beobachtungen über die verschiedenen Schuppenfarben und die zeitliche Succession ihres Auftretens (Farbenfelderung) auf den Puppenflügelchen von Vanessa urticae und Vanessa io. Zool. Anzeiger Nr. 380. 1891.

29c) F. Urech, Chemisch-analytische Untersuchungen an lebenden Raupen, Puppen und Schmetterlingen und an ihren Secreten. Zool. Anzeiger Bd. 19 S. 255, 272. 309, 334. 1890.

29d) F. Urech, Beobachtung von Compensationsvorgängen in der Farbenzeichnung bezw. unter den Schuppenfarben an durch thermische Einwirkungen entstandenen Aberationen und Subspecies einiger Vanessenarten. Zool. Anzeiger Nr. 500, 501, 502. 1896.

30) O. Wiener, Farbenphotographie durch Körperfarben und mechanische Farbenanpassung in der Natur. Ann. d. Physik und Chemie, N. F. Bd. 55 S. 225. 1895.

31) W. Zopf, Cohn's Hämatochrom ein Sammelbegriff. Biol. Centralbl. Bd. 15 Nr. 11. Juni 1895.

31a) W. Zopf, Ueber Ausscheidung von Fettfarbstoffen (Lipochromen) seitens gewisser Spaltpilze. Berichte der deutschen Botanischen Gesellschaft Jahrg. 1891 Heft 1.

31b) W. Zopf, Ueber niedere thierische und pflanzliche Organismen, welche als Krankheitserreger in Algen, Pilzen, niederen Thieren und höheren Pflanzen auftreten. Beiträge zur Physiologie und Morphologie niederer Organismen Heft 4. 1894.

Tabellarische Uebersicht über die wichtigsten Reactionen des rothen Vanessenfarbstoffes.

Reagens	Schuppenfarbstoff	Darmfarbstoff	Excrementefarbstoff
Löslichkeit:			
Wasser heiss und kalt; Zuckerwasser, Glycerin	Löslich mit braunrother oder cherrygelber Farbe. Durch Erwärmen wird die Lösung gelblich, beim Erkalten wird sie wieder röthlich.	Löslich mit rubinrother oder cherrygelber Farbe. Durch Erwärmen wird die Lösung gelblich, beim Erkalten kehrt d. rothe Farbe zurück.	Löslich mit rubinrother oder cherrygelber Farbe. Durch Erwärmen wird die Lösung gelblich, beim Erkalten kehrt d. rothe Farbe zurück.
Alkohol, Aether, Benzol	Unlöslich.	Unlöslich.	Unlöslich.
Chloroform	Etwas löslich.	Etwas löslich.	Etwas löslich.
Salzsaurer Alkohol	Cherrygelber Farbstoffauszug.	Cherrygelber Farbstoffauszug.	Cherrygelber Farbstoffauszug.
Eisessig	Löslich mit gelbrother Farbe.	Wenig löslich mit rosa Farbe.	Wenig löslich mit rosa Farbe.
Salpetersäure. conc.	Löslich mit rother Farbe.	Löslich mit rother Farbe.	Löslich mit rother Farbe.
Schwefelsäure, conc.	Löslich mit purpurrother Farbe.	Löslich mit purpurrother Farbe.	Löslich mit purpurrother Farbe.
Salzsäure, conc.	Löslich mit rothgelber Farbe.	Löslich mit rothgelber Farbe.	Löslich mit rothgelber Farbe.
Kalilauge, conc.	Unlöslich.	Unlöslich.	Unlöslich.
Chlornatrium, conc.	Unlöslich.	Unlöslich.	Unlöslich.
Fällbarkeit:			
Alkohol, absoluter	Durch das 8fache Volumen theilweise fällbar. Niederschlag rothbraun und wasserlöslich.	Durch das 6fache Volumen fällbar. Niederschlag gelbbraun u. wasserlöslich.	Durch das 4fache Volumen fällbar. Niederschlag rothbraun u. wasserlöslich.
Salpetersäure	Wenige Tropfen erzeugen weisslichen Niederschlag, der in der Wärme löslich ist u. in der Kälte wiederkehrt.	Wenige Tropfen erzeugen weisslichen Niederschlag, der in der Wärme löslich ist und in der Kälte wiederkehrt.	Wenige Tropfen erzeugen weisslichen Niederschlag, der in der Wärme löslich ist und in der Kälte wiederkehrt.
Salzsäure	Wenige Tropfen erzeugen einen rothen Niederschlag, der im Ueberschuss der Säure löslich ist.	Wenige Tropfen erzeugen einen rothen Niederschlag, der im Ueberschuss der Säure löslich ist.	Wenige Tropfen erzeugen einen rothen Niederschlag, der im Ueberschuss der Säure löslich ist.
Phosphorwolframsäure	—	—	Braunvioletter, dann gelbrother Niederschlag. Lösung lila.
Essigsäure	Wenige Tropfen erzeugen einen roth. Niederschlag, der im Ueberschuss der Säure löslich ist.	Wenige Tropfen erzeugen einen rothen Niederschlag, der schon im kleinen Ueberschuss der Säure löslich ist.	Wenige Tropfen erzeugen einen rothen Niederschlag, der selbst im grossen Ueberschuss der Säure schwer löslich ist.
Chlornatrium, conc.	Rothbrauner Niederschlag.	—	Rothbrauner Niederschlag.
Magnesiumsulfat	Rother Niederschlag.	—	Rother Niederschlag.
Ammoniumsulfat	Rothgelber Niederschlag.	—	Rother Niederschlag.

Tannin + Chlornatrium	Braungelber Niederschlag.	Braungelber Niederschlag.	Braungelber Niederschlag.
Basisch, essigsaures Blei	Rothgelber Niederschlag.	Voluminöser rothgelber Niederschl.	Voluminöser rothgelber Niederschl.
Quecksilberchlorid	Rothgelber Niederschlag, später gelbbraun.	Rothgelber Niederschlag, später gelbbraun.	Rothgelber Niederschlag, später braunroth.
Kupfersulfat	Gelbbrauner Niederschlag.	Niederschlag weisslich-rosa.	Gelbbrauner Niederschlag.
Silbernitrat, 1 %ige Lösung	Rothbrauner Niederschlag.	Rothgelber Niederschlag, später dunkelbraun.	Rothgelber Niederschlag, später dunkelbraun.
Kaliumferrocyanid + Salzsäure	Niederschlag erst rothgelb, dann blau. Lösung blau.	Niederschlag erst rothgelb, dann blau, Lösung blau.	Niederschlag erst rothgelb, dann blau, Lösung blau.
Kaliumferrocyanid + Essigsäure	Niederschlag erst rothgelb, dann blau.	Niederschlag erst rothgelb, dann blau, Lösung roth.	Niederschlag erst rothgelb, dann blau, Lösung roth.
Kalilauge u. Natronlauge	Wenige Tropfen erzeugen einen gelbbraunen Niederschlag.	Wenige Tropfen erzeugen einen gelbbraunen Niederschlag.	Wenige Tropfen erzeugen einen gelbbraunen Niederschlag.
Ammoniak	(as above)		
Kohlensäure	Keine Veränderung.	Trübung und zuerst weisslicher Niederschlag, später fällt auch blaurother Farbstoff aus.	Blaurother Niederschlag.
Farbenreactionen:			
Xanthoproteïnreact.	Niederschlag mit Salmiak neutralisirt gelbroth.	Niederschlag mit Salmiak neutralisiert gelbroth.	Niederschlag mit Salmiak neutralisirt gelbroth.
Milton'sche Reaction	Niederschlag orangeroth. Lösung erst rosa, dann farblos.	Niederschlag orangeroth. Lösung erst rosa, dann entfärbt.	Niederschlag orangeroth. Lösung erst rosa, dann entfärbt.
Biuret-Reaction	Mit Ammoniak grünblaue, mit Kalilauge grauviolette Färbung.	Mit Ammoniak grünblaue, mit Kalilauge grauviolette Färbung.	Mit Ammoniak grünblaue, mit Kalilauge grauviolette Färbung.
Gmelin'sche Reaction	Farbenringe: grün, blau, roth, gelb.	Farbenringe: grün, blau roth, gelb.	Farberinge: grün, blau, roth, gelb.
Chlorzink-Ammoniak	Grüne Fluorescenz.	Grüne Fluorescenz.	Grüne Fluorescenz.
Reactionen auf Zucker:			
Fehling'sche Reaction	Niederschlag von Kupferoxydul.	Niederschlag von Kupferoxydul.	Niederschlag von Kupferoxydul.
Phenylhydrazinprobe	Aus feinen Nadeln bestehende gelbliche Krystalldrusen.	Aus feinen Nadeln bestehende gelbliche Krystalldrusen.	Aus feinen Nadeln bestehende gelbliche Krystalldrusen.
Oxidation:			
Wasserstoffsuperoxyd, Chlorwasser, Salpetersäure, Kaliumpermanganat, Sonnenlicht	Die Farbstofflösung wird grüngelb, dann farblos.	Die Farbstofflösung wird grüngelb, dann farblos.	Farbstofflösung wird grüngelb, dann farblos.
Ferricyankalium	Lösung gelbgrün.	Lösung gelbgrün.	Lösung gelbgrün.
Reduction:			
Ammoniumsulfid	Lösung färbt sich langsam hochgelb.	Lösung färbt sich sofort hochgelb, wird auf Zusatz von H_2O_2 wieder roth.	Lösung färbt sich sofort hochgelb, wird auf Zusatz von H_2O_2 wieder roth.
Stokes'sches Reagens	—	Blaurother Niederschlag.	Blaurother Niederschlag.
Kohlensäure	—	Blaurother Niederschlag.	Blaurother Niederschlag.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Leipzig.)

Helligkeitsbestimmungen farbiger Papiere.

Von

Dr. med. **Arthur Brückner.**

(Mit 3 Textfiguren.)

I.

Wenn ein farbiges und ein farbloses mattes Papier in derselben Ebene neben einander liegen, so kann das farblose je nach seiner Lichtstärke entschieden heller oder dunkler erscheinen als das farbige, oder es kann eine Helligkeit zeigen, von der sich nicht sagen lässt, ob sie der des farbigen gleich oder grösser oder kleiner als diese ist. Variiren wir die Lichtstärke des farblosen Papieres, während das farbige unverändert bleibt, und bestimmen das Gebiet derjenigen Lichtstärken, bei welchen das Papier weder zweifellos heller noch zweifellos dunkler gesehen wird als das farbige, so scheint die Annahme gerechtfertigt, dass innerhalb dieses Gebietes diejenige Lichtstärke liegt, bei welcher wir die Helligkeit beider Papiere mit Sicherheit für gleich erklären würden, falls wir im Stande wären, zwischen farbigen und farblosen Flächen ebenso genau Helligkeitsvergleichungen zu machen wie zwischen zwei farblosen oder zwei gleichfarbigen. Von diesem farblosen Papier von bestimmter Lichtstärke könnte man dann sagen, dass es unter den gegebenen Versuchsbedingungen für unser Auge denselben Helligkeitswerth habe wie das gegebene farbige Papier von ebenfalls bestimmter Lichtstärke.

Man hat sich auf sehr verschiedene Weise bemüht, zu einem gegebenen farbigen Lichte dasjenige farblose zu finden, welchem im eben angeführten Sinne derselbe Helligkeitswerth zuzuschreiben wäre wie dem farbigen, oder wenn es sich um farbige Papiere handelt, dasjenige farblose (im Allgemeinen graue) Papier zu finden, welches in derselben Ebene mit dem farbigen liegend und ganz ebenso wie dieses beleuchtet, denselben Helligkeitswerth hätte wie das farbige.

Angenommen, dieses farblose Papier sei bei einem bestimmten Versuche richtig festgestellt worden, so kann es sich doch bei einer stärkeren oder schwächeren gemeinsamen Beleuchtung der beiden Papiere als nicht mehr richtig erweisen, und dasselbe kann der Fall sein, wenn die Stimmung und insbesondere die sogenannte Adaptation des Auges eine andere geworden ist (Purkinje'sches Phänomen). Jedes Versuchsergebniss ist also streng genommen nur für die beim Versuche bestehende Beleuchtungsstärke und Stimmung des Auges gültig, und es darf aus einer Reihe von Versuchsergebnissen nur dann ein Mittel gezogen werden, wenn sämmtliche Versuche unter gleichen Bedingungen angestellt wurden. Es muss also dafür Sorge getragen werden, dass die Beleuchtung sowie die Stimmung des Auges soweit möglich bei jedem Einzelversuch wieder dieselben sind.

Wegen der Wechselwirkung der Netzhautstellen erscheint es nicht gleichgültig, ob die beiden zu vergleichenden Flächen dicht an einander grenzen oder nicht, ob die eine Fläche die andere umschliesst, und welche die umschlossene ist, oder ob beide Flächen als gleich gross neben einander liegen. Ebensowenig ist es gleichgültig, ob der Blick von einer Fläche zur anderen hin- und hergeht, und also der Successivcontrast sich geltend machen kann, oder ob der letztere dadurch ausgeschlossen wird, dass die beiden Flächen dem ganz unbewegten Auge einige Secunden hindurch sichtbar gemacht werden, in welchem Falle nur der Simultancontrast in Betracht kommt. Endlich ist es nicht gleichgültig, ob mit centralen oder excentrischen Theilen der Netzhaut beobachtet wird.

Diese Andeutungen mögen genügen, um eine Vorstellung von den Schwierigkeiten zu geben, welche derartigen Untersuchungen und der Gewinnung eines reinlichen Ergebnisses entgegenstehen. Vorerst handelt es sich noch darum, Methoden zu finden, welche empfindlich genug sind, um die Schwankungsbreite der Ergebnisse so weit einzuengen, dass es verlohnt, die verschiedenen Factoren, welche das Ergebniss mit bestimmen, gesondert zu variiren, und die Art und Stärke ihres Einflusses festzustellen. Eine besondere Aufgabe wird dann die Deutung der Ergebnisse sein. Dieselbe muss sich sehr verschieden gestalten, je nachdem man z. B. die theoretischen Voraussetzungen von Helmholtz oder diejenigen von Hering zu Grunde legt.

Ehe ich zur Beschreibung einer mir von Herrn Professor Hering überlassenen Methode übergehe, will ich eine kurze Ueber-

sicht über die wesentlicheren bisher benützten Methoden der Helligkeitsbestimmung farbiger Papiere geben, soweit mir dieselben literarisch zugänglich waren.

II.

1. Directe Vergleichung.

Die ursprünglichste Form der Helligkeitsbestimmung farbiger Papiere ist diejenige, bei welcher man das farbige Papier direct mit grauen Papieren von bekannten relativen Lichtstärken vergleicht. Diese Methode ist z. B. von Hering und Hillebrand[1]) verwendet worden. Sie bedienten sich einer Scala grauer Papiere, auf welche kleine runde Scheiben aus dem zu bestimmenden farbigen Papier aufgelegt wurden. Es war dann leicht zu sagen, welches Grau entschieden dunkler, welches jedenfalls heller war als das farbige Papier. Von den grauen Papieren wurden dann schliesslich mehrere bezw. nur eines ausfindig gemacht, bei denen das Urtheil über heller oder dunkler nicht mehr möglich war, und das farbige Papier wurde dann als etwa gleich hell mit jenen angesprochen.

Mit Hülfe einer solchen Scala kann aber die zur Verwendung kommende Zahl der grauen Papiere nur eine begrenzte sein. Jedes beliebige Grau aber kann man sich herstellen, wenn man sich einer Helligkeitstafel bedient, deren Helligkeit continuirlich von schwarz auf der einen Seite bis zu weiss auf der anderen Seite zunähme. Eine solche Tafel hat v. Brücke[2]) verwendet, dessen Untersuchungen zeitlich vor den eben besprochenen angestellt wurden. Er schnitt aus dem farbigen Papier, dessen Helligkeit bestimmt werden sollte, ein kleines Fenster aus und legte dann das Papier auf die graue Helligkeitstafel, indem er es mittelst einer Glasplatte und Klemme fest an dieselbe andrückte. Darauf betrachtete er das Papier aus zunehmender Entfernung, wobei das Fenster allmählich nicht mehr deutlich erkennbar wurde. Die Entfernung des Beobachters von dem Papier, bei welcher das der Fall war, wurde notirt und das farbige Papier nach der einen oder anderen Seite der

1) Hillebrand, Ueber die specifische Helligkeit der Farben, mit Vorbemerkungen von E. Hering. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. zu Wien, math.-naturw. Classe Bd. 98 Abth. 3 S. 101 ff. 1889.

2) v. Brücke, Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie. Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. 84 Abth. 3 S. 435. 1881.

Helligkeitstafel verschoben, je nachdem das Fenster beim Undeutlicherwerden als ein heller oder als ein dunkler Fleck erschien. Das wurde so lange wiederholt, bis eine Stelle auf der Helligkeitstafel gefunden war, von der das Fenster weder nach rechts noch nach links verschoben werden konnte, ohne den Abstand des Beobachters grösser machen zu müssen, damit ihm das Fenster undeutlich erschiene. Dasjenige Grau der Tafel, welches dann durch das Fenster sichtbar war, wurde als gleich hell mit dem farbigen Papiere angesehen.

Jedes Grau lässt sich auch bei Verwendung des Farbenkreisels herstellen, auf welchem eine schwarze und eine weisse Scheibe befestigt werden, die gegen einander verschiebbar sind.

Gruber[1]) verwendete zu diesem Zweck zwei neben einander stehende Farbenkreisel. Auf dem einen wurde das farbige Papier angebracht, auf dem anderen wurde aus Schwarz und Weiss ein Grau gemischt, dessen Helligkeit durch Verschiebung der beiden Scheiben beliebig variirt werden konnte. Es wurde dann diese ganze Vergleichsscheibe in ihrer Helligkeit von einem in Bezug auf das Pigmentpapier entschieden dunkleren Grau durch kleine Aenderungen bis zu einem entschieden helleren Grau verändert. Dabei liess sich eine Zone feststellen, innerhalb deren gleiche Helligkeit beider Scheiben ausgesagt wurde. Das arithmetische Mittel dieser Gleichheitszone wurde als der Helligkeitswerth des farbigen Papieres angesehen.

Bei dieser Methode grenzten also die beiden zu vergleichenden Flächen nicht unmittelbar an einander. Letzteres war der Fall bei den zeitlich den Gruber'schen vorausgehenden Untersuchungen von Rood[2]). Dieser befestigte auf dem Farbenkreisel eine grosse Scheibe des farbigen zu untersuchenden Papiers und brachte ausserdem eine schwarze und eine weisse Scheibe von kleinerem Durchmesser auf der Achse des Kreisels an. Aus diesen liess sich dann ein beliebiges Grau mischen. Das Verfahren war sonst genau dasselbe wie bei Gruber.

Abney hat eine Verbesserung der Rood'schen Methode vor-

---

1) Gruber, Experimentelle Untersuchungen über die Helligkeit der Farben. Wundt's Philosoph. Studien Bd. 9 S. 429 ff. 1893.

2) Rood, The American Journal of Science, 3. Ser. vol. 25 p. 81 f. 1878 und Beiblatt zu den Annalen f. Physik und Chemie Bd. 3 (1) S. 805.

geschlagen[1]). Er geht dabei von der bekannten Beobachtung aus, dass eine grössere Genauigkeit der Helligkeitsbestimmung von Farben dann zu erzielen ist, wenn das Vergleichsgrau schnell in seiner Helligkeit abgewandelt werden kann. Das ist aber bei der Methode von Rood nicht möglich, da es ja erforderlich ist, zu jeder Aenderung der Helligkeit der kleineren grauen Scheibe (aus weiss und schwarz) den Farbenkreisel anzuhalten. Ausserdem ist dabei auch nur eine mehr oder weniger sprungweise Aenderung des Grau möglich. Abney hat desshalb einen besondern Apparat construirt, den er auch für die hier in Rede stehende Methode verwendete. Derselbe besteht darin, dass zwei Episkotister unmittelbar hinter einander auf derselben Achse befestigt sind. Sie sind gegen einander verschiebbar und erlauben so, beliebig grössere oder kleinere Winkelöffnungen für den Durchgang des Lichtes einzustellen. Durch eine besondere Hebelvorrichtung ist es ermöglicht, die Stellung des einen Episkotisters zum andern rasch zu ändern, und zwar während die Scheiben sich in Rotation befinden.

Abney bringt dicht hinter dieses Episkotisterpaar, welches auf der Vorderseite geschwärzt ist, ein weisses Papier. Bei der Rotation der Episkotisterscheiben entsteht dann ein Grau, dessen Helligkeit vermittelst der erwähnten Hebelvorrichtnng schnell geändert werden kann. Wird auf der Achse, auf welcher die Episkotisterscheiben befestigt sind, eine kleinere Scheibe des farbigen Papiers angebracht, so ist im Wesentlichen die Versuchsanordnung dieselbe, wie sie Rood angegeben hat, nur gestattet sie, während die Scheiben sich in Rotation befinden, eine schnelle Aenderung der Helligkeit des Vergleichsgrau.

Die soeben beschriebene Episkotistereinrichtung hat Abney noch zu einer anderen von ihm angegebenen Methode der directen Vergleichung verwendet[2]). Er stellte sich einen schwarzen Schirm her, auf welchem an einander grenzend ein rechtwinkliges weisses und ein ebensolches farbiges Stück Papier befestigt waren. Durch zwei passend orientirte, verschieden starke Lichtquellen, von denen die eine das Spiegelbild der andern war, wurde dann von einem Stabe auf jedes der beiden Papiere je ein Schatten entworfen. Es war dafür gesorgt,

---

1) Abney, On the Measurement of the Luminosity and Intensity of Light reflected from coloured surfaces. Philosophical Magazin vol. 27 Ser. 5 p. 62ff. 1889.

2) Abney, Philosophical Magazin vol. 27 Ser. 5 p. 64 f.

dass sich die Ränder der Schatten unmittelbar berührten und die Berührungslinie genau mit derjenigen der beiden Papiere zusammenfiel. Die Schatten waren ausserdem so breit, dass sie die ganze Fläche sowohl des weissen wie des farbigen Papieres bedeckten. In den Gang der Strahlen, welche von der stärkeren Lichtquelle herrührten, war die beschriebene Episkotistereinrichtung eingeschaltet. Es konnte durch dieselbe die Lichtstärke des weissen Papierstückes schnell geändert und auf diese Weise relativ leicht festgestellt werden, wann das weisse und das farbige Papier etwa gleich hell erschienen. Dann wurde die Spaltbreite des Episkotisters abgelesen. Darauf brachte Abney an die Stelle des farbigen Papieres ein weisses Papier auf dem Schirme an und ermittelte in genau derselben Weise wieder diejenige Spaltbreite des Episkotisters, bei welcher die beiden weissen Papiere gleich hell erschienen. Aus dem Verhältniss der so bestimmten beiden Spaltbreiten des Episkotisters liess sich in einfacher Weise berechnen, wie hell relativ zu dem weissen Papier das farbige Papier erschien.

2. Methode des ebenmerklichen Unterschieds.

Mit diesem Namen kann man eine Methode bezeichnen, welche von Szilagyi[1]) angegeben worden ist. Derselbe brachte auf physikalisch-optischem Wege (mittelst Prismen) die Bilder zweier Scheiben für das Auge zur Deckung. Die eine derselben befand sich in Rotation; sie bestand innen aus dem zu untersuchenden farbigen Papier, während auf dem äusseren Ring aus Schwarz und Weiss jedes beliebige Grau gemischt werden konnte. Auf der zweiten, nicht rotirenden Scheibe, welche aus einem grauen Papier bestand, auf dessen Lichtstärke es nicht weiter ankam, befand sich, radial gestellt, ein verticaler dunklerer Streifen. Das Bild dieser Scheibe fiel nun, durch ein Fernrohr betrachtet, in Folge der erwähnten Prismeneinrichtung mit demjenigen der ersten Scheibe zusammen, und der Beobachter sah, radial gestellt, sowohl über das farbige Papier des Centrums wie über den grauen Ring einen dunkleren Streifen gehen. Durch Verschieben der Prismen wurde dann das Bild der grauen Scheibe immer lichtschwächer gemacht, bis der Streifen auf der centralen Pigmentscheibe verschwand. Wenn das

1) Szilagyi, Ueber Bestimmung der Einwirkungsenergie der Pigmentfarben. Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1884 S. 289 ff.

nicht auch gleichzeitig auf dem äusseren grauen Ring der Fall war, wurde die Einstellung des schwarzen und weissen Sectors, durch welche er gebildet wurde, so lange geändert, bis das Verschwinden gleichzeitig eintrat. Das gefundene Grau verhielt sich dann gegenüber der Beimischung des schwachen weissen Lichtes der zweiten (grauen) Scheibe ebenso wie das farbige Papier und wurde als dessen helläquivalentes Grau angenommen.

Zu bemerken ist, dass durch die Zumischung des farblosen Lichtes zu demjenigen der ersten Scheibe die Lichtstärke des äusseren (grauen) Ringes zwar in gleichem Maasse erhöht wird wie diejenige der centralen farbigen Scheibe, bei dieser aber zugleich noch eine Aenderung der Sättigung eintritt.

An dieser Stelle sei auch eine Methode erwähnt, welche von Kirschmann[1]) mit folgenden Worten beschrieben wird: „Wenn man einer weissen oder grauen Scheibe eine geringe Winkelbreite einer Farbe zusetzt, so wirkt diese in der Mischung nur als Helligkeit, und die Scheibe hat, in Rotation versetzt, ein graues Aussehen. Nun kann man mittelst einer zweiten, nur aus schwarzen und weissen Sectoren bestehenden Scheibe dasselbe Grau mischen. So erlangt man eine Gleichung, aus welcher der Helligkeitswerth des Pigments gefunden werden kann.“ Kirschmann erwähnt dann eine so gewonnene Gleichung, in welcher der Zusatz an Farbe auf der einen Scheibe 9^{0} betrug.

3. Flimmerphotometrie.

Der sogenannten Flimmerphotometrie liegt folgender Gedanke zu Grunde: Wird eine und dieselbe Netzhautstelle in schnellem Wechsel von zwei verschiedenen Strahlungen erregt, so tritt eine Verschmelzung der durch dieselben verursachten optischen Eindrücke zu einer einheitlichen Empfindung bei einer um so geringeren Zahl des Wechsels der optischen Reize ein, je weniger verschieden die Helligkeit der beiden Lichtempfindungen ist, welche von der einen und der andern Strahlung hervorgerufen werden. Sind im Besonderen die in Frage kommenden Empfindungen gleich hell, so wird die „Intermittenzzahl“, d. h. diejenige Zahl, welche angibt, wie viel Mal die Lichtreize in der Secunde unterbrochen werden dürfen, um

---

1) Kirschmann, Wundt's Philosoph. Studien Bd. 6 S. 424 Anm. 1890.

noch eine einheitliche Lichtempfindung zu geben, ein Minimum erreichen.

Der erste, welcher die Flimmerphotometrie praktisch angewendet hat, ist Schafhäutl gewesen[1]). Er schildert den Vortheil, welchen diese Methode bietet, mit folgenden Worten (l. c. S. 498): „Das Auge hat nämlich . . . nicht ein indifferentes Merkmal zu beobachten, nicht die Qualität zweier Gegenstände in voller Ruhe neben einander zu vergleichen, wie das bei der Vergleichung von zwei Scheiben, von Scheiben gleicher Helligkeit geschehen muss. Im Gegentheil hat das Auge den Uebergang von Ruhe und Bewegung und zwar zur überaus raschen zitternden Bewegung oder umgekehrt wahrzunehmen, ein Uebergang, der keinem nur einigermaassen gesunden Auge entgeht . . . .“ Die Beobachtung, welche bei der Flimmerphotometrie auszuführen ist, besteht also im Allgemeinen darin, anzugeben, ob an einem gegebenen Gesichtseindruck noch Flimmern zu bemerken ist oder nicht. Schafhäutl's Methode ist hier nicht weiter zu besprechen, weil er Helligkeitsbestimmungen an farbigen Papieren nicht näher mitgetheilt hat.

Erst fast vierzig Jahre später verwendete Rood[2]) die Flimmerphotometrie zu Helligkeitsbestimmungen farbiger Papiere. Er hatte sich eine Serie von hundert grauen Papieren von verschiedener Lichtstärke hergestellt. Auf dem Farbenkreisel brachte er dann eine graue Scheibe und eine Scheibe aus dem farbigen Papiere an, dessen Helligkeit ermittelt werden sollte. Die Scheiben waren längs eines Radius geschlitzt und somit gegen einander verschiebbar. Sie wurden so eingestellt, dass die eine Hälfte der Kreiselfläche vom Pigmentpapier, die andere von dem grauen Papier eingenommen wurde. Darauf wurde der Farbenkreisel in Bewegung gesetzt und festgestellt, bei welcher Umdrehungsgeschwindigkeit, d. h. bei wie häufigem Wechsel der optischen Eindrücke (graues und farbiges Papier) in der Zeiteinheit das Flimmern gerade nicht mehr sichtbar war. Es wurden solche Versuche hinter einander mit einer Anzahl verschieden heller grauer Papiere gemacht und bestimmt, bei welchem dieser grauen Papiere die geringste Umdrehungs-

1) Schafhäutl, Abbildung und Beschreibung des Universal-Vibrations-Photometers. Abhandl. d. Münch. Akad. Bd. 7 S. 465 ff. 1855.

2) Rood, On a photometric method which is independent of color. Americ. Journ. of Science vol. 46 p. 173—176. 1893.

geschwindigkeit erforderlich war, um das Flimmern gerade verschwinden zu lassen. Dieses Grau wurde als gleich hell mit dem farbigen Papiere angenommen.

Rood hat dann weiter zwei verschiedenfarbige Papiere von annähernd gleicher Helligkeit (welche zuvor nach der eben angegebenen Methode bestimmt worden war) in analoger Weise auf dem Farbenkreisel gemischt und gefunden, dass auch sie im Vergleich mit anderen ungleich hellen farbigen Papieren, bei einer geringsten Umdrehungsgeschwindigkeit bereits eine einheitliche Empfindung gaben.

Schenck[1]) berichtet über einen Gedanken, durch welchen Marbe die eben erwähnte Methode von Rood brauchbarer gestalten wollte. Schenck sagt (l. c. S. 608): „Er wollte die Intermittenzzahl, d. i. die Zahl, die angibt, wie oft der Wechsel beider Reize in einer Secunde statthaben muss, damit Verschmelzung eintritt, für Schwarz einerseits und eine Serie grauer Papiere anderseits, bestimmen, ausserdem die Helligkeit der grauen Papiere noch nach einer anderen photometrischen Methode feststellen. So hätte er für jeden Helligkeitswerth eine zugehörige Intermittenzzahl erhalten. Um die Helligkeit eines farbigen Papiers zu bestimmen, würde nun das farbige Papier mit Schwarz auf der Scheibe zusammengebracht worden sein, die Intermittenzzahl wäre bestimmt worden, und aus der Tabelle hätte man den für diese Intermittenzzahl geltenden Helligkeitswerth entnehmen können.“ Schenck fügt diesen Worten einige kritische Bemerkungen hinzu, in welchen er sagt, dass die in der angegebenen Weise gefundenen Intermittenzzahlen nur individuelle Geltung haben können, und ausserdem auch bei einem und demselben Beobachter an verschiedenen Tagen erheblichen Schwankungen unterworfen sein könnten, wie dies oben bereits von jeder Helligkeitsbestimmung farbiger Papiere allgemein ausgesprochen worden ist.

Schenck hat dann selbst eine Methode für die Flimmerphotometrie angegeben. Er schloss sich bei derselben der Rood-schen Methode an, indem er ebenfalls auf dem Farbenkreisel die eine Hälfte der Scheibe mit dem zu untersuchenden farbigen Papiere bedeckte und auf die andere Hälfte ein graues Papier brachte. In

---

1) Schenck, Ueber intermittirende Netzhautreizung. 2. Mittheilung: Ueber die Bestimmung der Helligkeit grauer und farbiger Pigmentpapiere mittelst intermittirender Netzhautreizung. Pflüger's Archiv Bd. 64 S. 607 ff. 1896.

diesem Punkte aber wich er dann von Rood ab. Dieser hatte freilich schon selbst die oben angegebene Versuchsanordnung für manche Versuche dahin modificirt, dass er statt der einen grauen Scheibe zwei verschieden helle graue Scheiben auf der einen Kreiselhälfte anbrachte, von welchen die eine einen kleineren Radius wie die andere hatte. Bei der Rotation der Scheibe konnte er dann feststellen, welches der grauen Papiere zu dem gegebenen farbigen Papier besser „passte", d. h. ob das Centrum der Scheibe oder der äussere Ring zuerst aufhörte, Flimmern zu zeigen.

Schenck ging nun noch weiter und trug auf der einen Kreiselhälfte ein Grau auf, welches allmählich von Schwarz an der Peripherie bis zu Weiss im Centrum der Scheibe überging. Da ein graues Papier, welches einen solchen allmählichen Uebergang von Schwarz zu Weiss zeigt, technisch für den angegebenen Zweck nur sehr schwer anzufertigen gewesen wäre, stellte Schenck diesen Uebergang in anderer Weise her. Er machte an der Peripherie der (halben grauen) Scheibe einen ganz schwarzen Ring, während er das Centrum weiss liess. Den dazwischen liegenden Ring theilte er in 12 Felder, welche abwechselnd schwarz und weiss waren. Die Trennungslinien je zweier Felder waren so gezogen, dass die Zunahme an Schwarz nach der Peripherie der Scheibe zu proportional dem Abstand vom Centrum der Scheibe erfolgte. Wurde nun der Farbenkreisel in Rotation gesetzt, so fand zunächst (nach der Annahme von Schenck) eine Verschmelzung („erster Ordnung" so zu sagen) zwischen den schwarzen und weissen Sectoren statt. Damit wäre dann für die eine Hälfte der Scheibe thatsächlich ein continuirlicher Uebergang von Weiss bis zu Schwarz gegeben. Eine Verschmelzung „höherer Ordnung" sollte dann bei einer grösseren Rotationsgeschwindigkeit des Kreisels zwischen dem farbigen Papier und dem ihm gleich hellen Grau stattfinden, was sich darin zu erkennen geben müsste, dass ein nicht flimmernder Ring sichtbar würde, während sonst noch auf der ganzen Scheibe Flimmern zu bemerken sein müsste.

In der That konnte Schenck einen solchen nicht flimmernden Ring beobachten. Der Abstand desselben vom Centrum der Scheibe wurde durch genaue Einstellung einer kleinen Oeffnung ermittelt, die sich in einem Schirm befand, welcher frontal zur Kreiselscheibe stehend auf einer Schlittenvorrichtung verschiebbar angebracht war. Der Beobachter blickte durch diese Oeffnung nach der Kreiselscheibe

und konnte dabei genau nach dem nicht flimmernden Ring visiren. Aus der Schlittenstellung liess sich dann der Abstand des nicht flimmernden Ringes vom Centrum der Kreiselscheibe ermitteln und damit das Grau berechnen, welches Schenck nun als gleich hell mit dem farbigen Papier annahm.

Die Flimmerphotometrie ist ferner von Rivers[1]) verwendet worden. Derselbe hat den Gedanken von Marbe praktisch ausgeführt. Er stellte einen Bogen des farbigen Papiers vertical auf und liess vor demselben einen Episkotister (mit vier Spalten) rotiren. Er bestimmte dann die Zahl der Unterbrechungen, bei der das Flimmern gerade aufhörte. Nachdem diese ermittelt war, brachte er nach einander an die Stelle des farbigen Papiers verschieden helle graue Papiere, bis er dasjenige fand, welches die gleiche „Intermittenzzahl" hatte.

Ausserdem hat Rivers noch folgende Modification der Methode angewendet. Er stellte das farbige und graue Papier neben einander so auf, dass das Gesichtsfeld der Röhre (er beobachtete auch bei den zuerst erwähnten Versuchen durch eine solche) zur einen Hälfte vom grauen, zur anderen vom farbigen Papier ausgefüllt war. Es wurde dann der zwischen den Papieren und der distalen Röhrenöffnung befindliche Episkotister mit solch einer Geschwindigkeit gedreht, dass ein kaum sichtbares Flimmern am farbigen Papier zu erkennen war. Darauf wurden nach einander an die Stelle des ersten grauen Papiers andere von verschiedener Helligkeit gebracht, bis eines gefunden wurde, welches bei der gegebenen Rotationsgeschwindigkeit des Episkotisters dieselbe Stärke des Flimmerns zeigte wie das farbige Papier. Dieses graue Papier galt dann als gleich hell dem farbigen Papiere.

Die Methode von Rivers beruht, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich ist, auf einem andern Gedanken wie diejenige von Rood und Schenck, denn hier wird nicht abwechselnd eine farbig und eine farblos wirkende Lichtstrahlung dem Auge geboten, sondern jede Strahlung für sich erfährt eine rythmische Unterbrechung. Aber auch der Methode von Rivers liegt dieselbe theoretische Voraussetzung zu Grunde wie jener Methode, dass nämlich ausschliesslich die Helligkeit, nicht die Qualität eines optischen Ein-

---

1) Rivers, The photometry of coloured paper. Journal of Physiology vol. 22 p. 137 ff. 1897.

drucks für das Flimmern in Betracht kommt, wenn die Lichtstrahlung nur in rhythmischer Unterbrechung die Netzhaut erregen kann.

Eine Kritik der Flimmerphotometrie ist von Polimanti[1]) gegeben worden. Er stellte seine Untersuchungen mit spectralen Lichtern an und kommt zu dem Resultat, dass die Flimmermethode als eine photometrische Methode nicht gelten kann. Er will desshalb auch zwei Lichter nur als „flimmeräquivalent" bezeichnet wissen, aber nicht als gleich hell[2]).

Polimanti fasst das Ergebniss seiner Untersuchungen zusammen, indem er sagt, erstlich „dass die Vertheilung der Flimmerwerthe nicht übereinstimmt mit derjenigen der Dämmerungswerthe[3]), zweitens, dass sie wenigstens annähernd übereinstimmt mit derjenigen der Peripheriewerthe, wie sie v. Kries ermittelt hat" (l. c. S. 270).

Eine Methode, welche grosse Aehnlichkeit mit der Flimmerphotometrie besitzt, ist von Rivers, der sie beschrieben hat, als „Band"-Photometrie bezeichnet worden[4]). Sie beruht auf der Benutzung eines Phänomens, welches nach Rivers Angabe zuerst von Jastrow[5]) beschrieben worden ist. Wird eine Scheibe, auf welcher abwechselnd verschiedenfarbige oder verschieden helle Sectoren aufgetragen sind, in schnelle Rotation mittelst des Farbenkreisels gesetzt, so dass kein Flimmern mehr sichtbar ist, und bewegt man einen dünnen Stab vor der rotirenden Scheibe hin und her, so scheint derselbe von einer Reihe von „Bändern" gefolgt zu sein, welche in ihrer Färbung den Farben der Sectoren der Kreiselscheibe entsprechen. Macht man den Versuch in derselben Weise mit Sectoren

1) Polimanti, Ueber die sogenannte Flimmerphotometrie. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. der Sinnesorgane Bd. 19 S. 263—283. 1899.

2) Polimanti will auch das Wort „Intermittenzhelligkeit" für den mit der Flimmermethode gewonnenen Werth vermieden sehen. Schenck hatte nämlich in einer späteren Mittheilung (Pflüger's Archiv Bd. 68 S. 43—47) es vorgezogen, solange nicht genau festgestellt worden sei, was eigentlich mit der Flimmermethode gemessen werde, nicht mehr von Helligkeit im Allgemeinen, sondern nur von einer „Intermittenzhelligkeit" zu sprechen.

3) In diesem Punkte hatte bereits Schenck dasselbe gefunden. — Unter Dämmerungswerthen sind hier diejenigen Helligkeitswerthe verstanden, welche nach Hering-Hillebrand bei Dunkeladaptation und sehr geringer Beleuchtung ermittelt werden.

4) Rivers l. c. S. 137 ff.

5) Jastrow, American Journal of Psychology vol. 4 p. 201. 1891.

aus einem farbigen und einem grauen Papier, so entsteht ebenfalls eine Reihe von Bändern, welche abwechselnd in der Farbe des farbigen Papiers und dessen Contrastfarbe erscheinen. Rivers hat nun solche Versuche mit verschieden hellen grauen Papieren und ein und demselben farbigen Papier gemacht und dabei gefunden, dass sich für jedes Pigment immer ein graues Papier von bestimmter Lichtstärke finden liess, bei welchem beim Vorüberführen des Stabes vor der rotirenden Scheibe nur undeutliche oder gar keine Bänder zu erkennen waren. Rivers glaubte dann, wie er aus vergleichenden Untersuchungen nach anderen Methoden entnahm, dass das betreffende graue Papier gleiche Helligkeit mit dem untersuchten farbigen Papiere besässe. Bei der „Band"-Photometrie wäre demnach hauptsächlich die Helligkeit der Papiere für das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein des erwähnten Phänomens maassgebend.

4. Pupillophotometrie.

Den Gedanken, die Weite der Pupille zu photometrischen Messungen zu verwenden, hat zuerst Gorham[1]) ausgesprochen. Er hat aber keine Anwendung der von ihm beschriebenen Methode auf die heterochrome Photometrie gemacht.

Später benutzte Sachs[2]) die Pupillarreaction, um zu entscheiden, ob dieselbe der scheinbaren Helligkeit oder der weissen Valenz farbiger Papiere parallel geht, und kam zu dem Ergebniss, dass Ersteres der Fall ist.

Abelsdorff[3]) bestätigte dies in Bezug auf monochromatische Lichter. Nimmt man dieses als feststehend an, so liesse sich nun umgekehrt die Pupillarreaction benutzen, um die Gleichheit oder Ungleichheit der scheinbaren Helligkeit verschiedenfarbiger Lichter festzustellen, was auch von Sachs vorgeschlagen worden ist. Freilich muss diese Methode an Empfindlichkeit hinter anderen Methoden zurückstehen.

1) Gorham, The Pupil-Photometer. Proceedings of the Roy. Soc. of London vol. 37 p. 425 f. 1884. Der Aufsatz trägt die Ueberschrift „Abstract". Einen Hinweis auf eine ausführliche Mittheilung habe ich aber nicht finden können.

2) Sachs, Ueber den Einfluss farbiger Lichter auf die Weite der Pupille. Pflüger's Archiv Bd. 52 S. 79—86. 1892.

3) Abelsdorff, Die Aenderungen der Pupillenweite durch verschiedenfarbige Beleuchtung. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorg. Bd. 22 S. 81 ff. 1900.

Derartige Untersuchungen hat Rivers[1]) angestellt. Er verglich die so gewonnenen Resultate mit den nach anderen Methoden gewonnenen Helligkeitswerthen und fand, dass sie ziemlich gut übereinstimmten.

5. Nachbildmethode.

Eine besondere Methode der Helligkeitsbestimmung farbiger Papiere hat Martius[2]) angewendet. Er benutzte dazu das von ihm benannte und genauer untersuchte „Fechner'sche Gesetz des Helligkeitswerthes der negativen Nachbilder“ [3]), welches besagt, soweit es hier in Frage kommt, „dass irgend eine Helligkeit, irgend ein Grau, einige Zeit auf hellerem Grunde betrachtet, sich aufhellt, auf dunklerem Grunde sich verdunkelt“. Martius hat diesen Satz nun auch auf farbige Papiere übertragen. Er verwendete für seine Beobachtungen dabei in der Hauptsache folgende Versuchsanordnung. Eine schwarze und eine weisse kreisförmige Scheibe wurden mit je einem Ringe des zu untersuchenden farbigen Papiers beklebt und dann längs eines Radius geschlitzt. Beide Scheiben wurden darauf in einander geschoben und auf dem Farbenkreisel befestigt. Bei der Rotation sah man einen farbigen Ring auf einem grauen Grunde, dessen Helligkeit beliebig variirt werden konnte. Der Beobachter fixirte nun den grauen Grund an einer bestimmten Stelle innerhalb des farbigen Ringes und hatte zu urtheilen, ob dabei das Grau sich verdunkelte oder aufhellte, bezw. ob das eine oder andere mit dem farbigen Ring stattfand[4]). Nach dem angeführten Fechner'schen Satze war dann der farbige Ring dunkler als das Grau des Grundes, wenn dieser sich verdunkelte, bezw. der Ring sich erhellte, und umgekehrt. Als Hülfsmoment für die Beurtheilung „kann man, nachdem der Blick die geeignete Zeit lang ruhig fixirt gehalten ist und die geschilderten Veränderungen eingetreten sind, den Blickpunkt noch verlegen und von dem fixirten Punkt der grauen Mittelscheibe nach einem Punkte des farbigen Ringes hinsehen. Ist das vorhandene Nachbild ein verdunkelndes, so wird der farbige Ring dunkler er-

---

1) Rivers, Journal of Physiology vol. 22 p. 140 ff.

2) Martius, Eine neue Methode zur Bestimmung der Helligkeit der Farben. Beiträge zur Psychologie und Philosophie Bd. 1 H. 1 S. 95 ff. Leipzig 1896.

3) Martius, Ebenda S. 17 ff.

4) Es wurden nämlich die Helligkeitsveränderungen sowohl des grauen Grundes wie des farbigen Ringes für das Urtheil verwerthet.

[illegible], ist das Nachbild ein aufhellendes, dagegen heller als vorher (l. c. S. [illegible]).

Martius theilt eine Reihe von Versuchsprotokollen mit, aus welchen sich ergibt, dass die Schwankungsbreite, innerhalb deren sich das Nachbild weder deutlich erhellte noch verdunkelte, eine relativ sehr grosse ist.

III.

Der Grundgedanke der mir von Herrn Professor Hering vorgeschlagenen Methode besteht darin, ein dem farbigen Papier gleich helles Grau an die Stelle eines kleinen Bezirks des zu untersuchenden Papieres zu bringen. Thut man das auf einer Scheibe, welche dann mittelst des Farbenkreisels in Rotation versetzt wird, so entsteht ein weniger gesättigter Ring, welcher dunkler, heller oder ebenso hell wie die übrige Scheibe erscheinen kann. Durch Aenderung der Helligkeit des substituirten grauen Papiers kann die Helligkeit des ungesättigten Ringes beliebig variirt werden. Die Vortheile der Methode bestehen darin, dass man zwei Farben desselben Tones und nur wenig verschiedener Sättigung in Bezug auf ihre Helligkeit zu vergleichen hat, und dass der Farbencontrast, wenn auch nicht ganz, so doch fast ganz dabei ausgeschlossen wird. Man kann diese Methode, dem Gesagten zu Folge, als Substitutionsmethode bezeichnen.

Die Methode im Einzelnen ist folgende. Aus den zu untersuchenden Papieren wurden Scheiben von beiläufig 19,2 cm Durchmesser hergestellt. Dieselben wurden längs eines Radius mit einem ca. 3 cm langen Schlitz versehen, dessen centrales Ende ca. 3,5 cm vom Centrum der Scheibe entfernt war. Ausserdem wurden aus fünf verschieden hellen grauen Papieren[1]) kleinere Scheiben von 11,5 cm Durchmesser ausgeschlagen. Dieselben waren längs eines Radius geschlitzt, und ausserdem wurde ein Kreissector *s* von 4 cm Radius und ca. 20° Breite in der Weise ausgestanzt, wie es Figur 1 zeigt.

---

1) Als Normalpapier wurde ein mit Barytweiss gefärbtes Papier verwendet. Auf dieses wurden dann die relativen Lichtstärken sämmtlicher Papiere bezogen. Die der grauen Papiere war nach der von Hillebrand beschriebenen Methode (l. c. S. 96) bestimmt worden. Die relative Lichtstärke der im Text erwähnten grauen Papiere betrug 360° (Barytweiss), 184,5°, 125°, 60° und 14° weiss. Das letzte Papier war also schon schwarz zu nennen.

Es blieb also an der Peripherie ein Zapfen in Form eines Ringsectors stehen.

Eine der so hergestellten Scheiben wurde nun hinter eine grössere farbige Scheibe auf den Farbenkreisel gebracht und der Zapfen der grauen Scheibe durch den Schlitz der farbigen geschoben, so dass er auf deren Vorderseite sichtbar wurde als ein Stück eines Ringes — als „Ringsector", wie er im Folgenden bezeichnet werden soll. Wurde nun der Kreisel in so schnelle Rotation versetzt, dass jedes Flimmern verschwand, so war auf der farbigen Scheibe ein Ring zu erkennen, welcher sich in Folge seiner geringeren Sättigung — die Farbe war ja in einem Bruchtheil des Ringes durch Grau ersetzt worden — von der Umgebung unterschied. Dieser Ring erschien heller oder dunkler als die übrige farbige Scheibe, je nach-

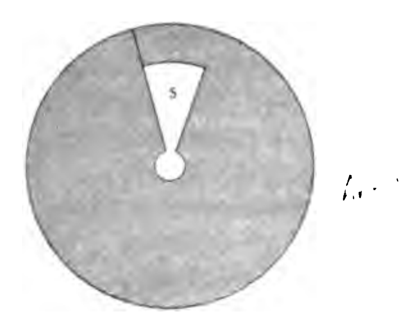


Fig. 1.

dem das substituirte graue Papier heller oder dunkler war als die Farbe der Scheibe. Dieses Grau liess sich nun in einfacher Weise dadurch in seiner Helligkeit abstufen, dass man statt e i n e r grauen Scheibe zwei solche verwendete, deren eine entschieden heller, deren andere entschieden dunkler erschien als das farbige Papier. Die Zapfen der beiden Scheiben wurden dann beide über einander durch den Schlitz in der farbigen Scheibe geschoben und derart gegen einander justirt, dass ein Theil des farblosen Ringsectors von dem einen grauen Papier, der andere Theil von dem zweiten gebildet wurde. Fig. 2 zeigt das Aussehen der so armirten Scheibe. Das Verhältniss, in dem die beiden grauen Papiere an der Bildung des ganzen Ringsectors betheiligt waren, liess sich durch Verschiebung der beiden grauen Scheiben gegen einander beliebig ändern. Es wurde dann diejenige Einstellung gesucht, bei welcher bei Rotation der Scheibe der ungesättigtere Ring gleich hell mit der übrigen Scheibe erschien.

Die Methode lässt sich auch in folgender, umgekehrter Weise anwenden. Man lässt einen Ring der zu untersuchenden Farbe gesättigt stehen und stellt aussen und innen von demselben eine geringere Sättigung der Farbe durch Zumischung von variablem Grau her. Zu diesem Zwecke braucht man eine grosse farbige Scheibe, welche längs eines Radius ganz geschlitzt ist, und eine kleinere, der grossen gleichfarbige Scheibe von genau derselben Form, wie sie in Fig. 1 für die grauen Scheiben wiedergegeben ist. Ausserdem sind noch grosse, graue Scheiben erforderlich, welche ebenfalls längs eines

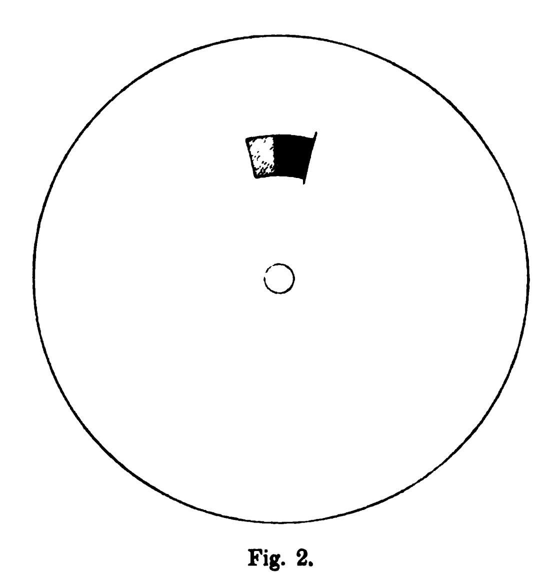


Fig. 2.

Radius geschlitzt sind. Die Scheiben werden dann in folgender Anordnung auf dem Farbenkreisel befestigt: nach hinten werden zwei graue Scheiben gelegt, nach vorne die grosse farbige Scheibe und zwischen beides wird die kleine farbige Scheibe geschoben. Die vier Scheiben werden dann in der Weise gegen einander justirt, wie es aus Fig. 3 ohne Weiteres ersichtlich ist. Bei der Rotation erscheint dann ein gesättigterer farbiger Ring, aussen und innen von demselben aber ist die Farbe weniger gesättigt, und je nach dem substituirten Grau erscheint sie heller oder dunkler als der Ring oder gleich hell. Das Weitere ergibt sich aus dem oben Gesagten von selbst.

Bei den Versuchen nach der beschriebenen Methode ist es empfehlenswerth, in folgender Weise vorzugehen. Man wählt zunächst

die beiden grauen Scheiben derart aus, dass ihre Helligkeit nicht zu verschieden von einander ist und der Unterschied von der Helligkeit des zu untersuchenden Papiers ebenfalls kein sehr grosser ist. Die Bestimmungen werden dadurch genauer. Ferner ist es nothwendig, bei Versuchen nach der zuerst beschriebenen Art dem Ringsector (insgesammt) eine passende Grösse zu geben. Ist er nämlich zu gross, so wird die Sättigungsdifferenz zwischen dem Ringe und der übrigen Scheibe eine so erhebliche, dass dadurch das Urtheil erschwert wird. Wird der Ringsector aber zu klein gemacht, so kann

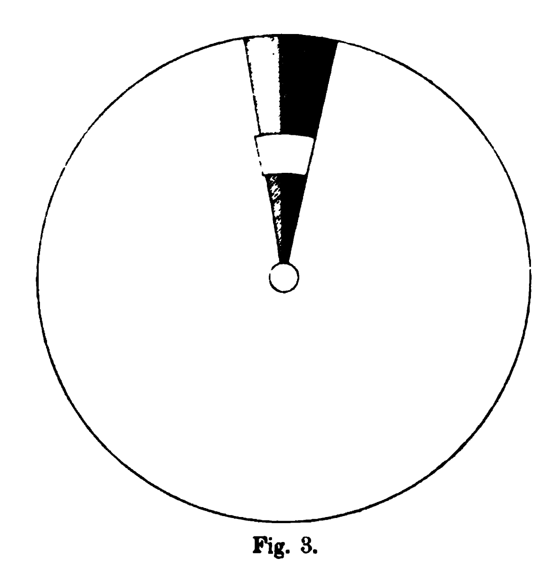


Fig. 3.

umgekehrt die Sättigungsdifferenz so gering werden, dass der Beobachter Mühe hat, den Ring überhaupt zu sehen, was ebenfalls von Nachtheil ist. Eine allgemeine optimale Grösse des Ringsectors lässt sich nicht angeben, weil dieselbe naturgemäss davon abhängen muss, wie gesättigt das zu bestimmende farbige Papier ist; je gesättigter es ist, um so kleiner kann im Allgemeinen der Ringsector sein und umgekehrt. Bei den Versuchen mit den von mir gemessenen farbigen Papieren fand ich es am vortheilhaftesten, dem Ringsector etwa eine Grösse von 8—15° zu geben.

Für die Ausrechnung der Beobachtungen ist es bequem, wenn man bei der Helligkeitsänderung des Ringsectors durch Verschiebung der Zapfen der grauen Papiere entweder die Gesammtgrösse des

Ringsectors constant erhält und dabei das Verhältniss der Grösse der beiden Zapfen zu einander ändert, oder den einen Theilsector, also die Grösse des Ringsectors der einen grauen Scheibe constant lässt und die Grösse des anderen, damit also auch die Grösse des ganzen Ringsectors, ändert. Ich habe diese zweite Art der Helligkeitsvariirung des Grau bevorzugt, weil bei ihr die Einstellungen bequemer zu bewerkstelligen sind.

Die Grösse der Theilringsectoren der beiden grauen Scheiben wird mit einer Gradtheilung abgelesen.

Zur Veranschaulichung des Gesagten diene folgendes Protokoll, welches zugleich die Art und Weise zu erkennen gibt, wie die unten mitgetheilten Beobachtungsresultate gewonnen worden sind.

Versuch vom 15. August 1901[1]).

12h bis 12h 25′ p. m. Heller blauer Himmel. Abstand der Versuchsperson von der Scheibe ca. 75 cm. — Farbiges Papier: Grün. — Der Ringsector wird gebildet von grauem Papier I = 184,5° und III = 60° Weiss. —

I = 184,5° Weiss,		III = 60° Weiss.	Der Ring erscheint:
5.0° constant	+	6,0°	heller
		6,4°	heller
		6,8°	Spur heller
		7,4°	heller
		7,8°	eher heller
		8,3°	eher heller
		8,8°	? eher heller
		9,3°	?
		9,9°	eher dunkler
		10,1°	dunkler
		10,0°	dunkler
		9,8°	Spur dunkler
		9,5°	? eher dunkler
		9,4°	?
		8,9°	?
		8,6°	heller
		8,7°	heller.

1) In diesem Versuche machte ich mir selbst die Einstellungen; vgl. hierzu unten S. 110.

Daraus ergeben sich als Grenzwerthe, bei denen das Urtheil zweifelhaft[1]) wird: Grau I = 184,5° Weiss, Grau III = 60° Weiss.
5,0° + 8,8
5,0° + 9,5,
woraus sich als Helligkeitswerthe 105,11° Weiss bezw. 102,93° Weiss berechnen lassen.

Der Mittelwerth, welcher also die wahrscheinliche Helligkeit des grünen Papiers angibt, ist 104,04° Weiss.

Wie aus dem angeführten Beispiel zu ersehen ist, wurde von einem entschieden helleren Grau durch die Zone hindurch, in der das Urtheil zweifelhaft war, das Grau variirt, bis der Ring entschieden dunkler erschien, und dann wurde wieder bis zu einem helleren Grau zurückgegangen. Dabei bestand das Bestreben, die Indifferenzzone nach Möglichkeit einzuengen.

Die Berechnung der so gefundenen Grenzwerthe gestaltet sich sehr einfach nach der Formel

$$\frac{s_{g1}\, g^1 + s_{g2}\, g^2}{s_{g1} + s_{g2}},$$

worin s_{g1} und s_{g2} die Bogenwerthe der Theilringsectoren der beiden grauen Papiere und g_1 und g_2 die Werthe der relativen Lichtstärken derselben angeben. Das Mittel zwischen beiden Grenzwerthen wurde dann als Helligkeitswerth des farbigen Papieres angesehen. Selbstverständlich liesse sich dieser Mittelwerth einfacher dadurch feststellen, dass man das arithmetische Mittel bereits zwischen den beiden Theilringsectoren desjenigen Grau nähme, dessen Antheil am Ringsector geändert wurde. Ich habe es aber vorgezogen, die Grenzwerthe stets auszurechmen, um eine Anschauung von der Grösse der Schwankungsbreite zu haben[2]).

Die Erfüllung möglichst constanter Versuchsbedingungen für die Beobachtungen ist selbstverständlich. Gleichmässige Beleuchtung und

---

1) Gleichheit in Bezug auf die Helligkeit ist nur sehr selten möglich anzugeben.

2) Diese Art der Helligkeitsbestimmung farbiger Papiere setzt also voraus, dass sich derselbe Helligkeitswerth ergeben würde, wenn man nicht nur ein kleines Stück eines Ringes des farbigen Papieres durch Grau ersetzt, sondern volle 360°. Eine Art Controle für die Richtigkeit dieser Voraussetzung liesse sich dadurch erreichen, dass man, nicht wie oben beschrieben, einen Ringsector des farbigen Papieres durch Grau ersetzte, sondern umgekehrt einen Ringsector des grauen Papieres durch einen farbigen. Bei einem analogen Versuche müsste sich dann für dieses wieder derselbe Helligkeitswerth ergeben. Leider war ich aus äusseren Gründen nicht mehr in der Lage, derartige Controlversuche anzustellen.

stets dieselbe relative Stellung des Beobachters zur rotirenden Scheibe sind dazu erforderlich. Auch ist es nöthig, dass die Urtheile stets in Bezug auf ein und dieselbe Stelle des Ringes abgegeben werden, und vor Allem auch, dass keine Nachbilder der Scheibe die Reinheit der Versuche trüben.

IV.

Im Folgenden seien die Resultate wiedergegeben, welche ich bei Helligkeitsbestimmungen verschiedener farbiger Papiere nach der vorstehend beschriebenen Methode gewonnen habe. Die Versuche sind ausnahmslos in den Stunden zwischen 10 ½ und 1 Uhr angestellt worden, und zwar in einem nach Westen zu gelegenen hellen Zimmer, in welches zu der angegebenen Tageszeit noch kein direktes Sonnenlicht einfiel. Um an verschiedenen Tagen möglichst bei derselben Beleuchtungsstärke und dementsprechend etwa denselben Adaptationszustand der Augen zu arbeiten, wurden die Versuche meist an hellen sonnigen Tagen angestellt; nur manche Beobachtungsreihen wurden auch bei gleichmässig bedecktem Himmel gemacht, wenn derselbe ein sehr helles Licht gab. Es war also stets gute Helladaptation vorhanden.

Der Beobachter sass mit dem Rücken gegen das Fenster, vor ihm war der Farbenkreisel aufgestellt, welcher also bestmöglich beleuchtet wurde. Die Urtheile wurden immer in Bezug auf die Beobachtung durch die Stelle des directen Sehens abgegeben. Blickbewegungen waren bei den Versuchen nicht vollständig ausgeschlossen.

Ein Uebelstand, der sich aber nicht beseitigen liess, war der, dass ich in der Hauptsache darauf angewiesen war, die Beobachtungen und Einstellungen selbst zu machen. Dass ich bemüht war, mich einer Beeinflussung möglichst zu entziehen, kann wohl als selbstverständlich gelten. Zur Controle habe ich mir, vor Allem um die Grösse der Schwankungsbreite zu vergleichen, bei einer Reihe von Versuchen die Einstellungen von einer anderen Person machen lassen[1]). Die Resultate dieser Versuche sind in den Tabellen besonders gekennzeichnet und scheinen mir zu beweisen, dass die Beeinflussung, der ich bei den anderen Versuchsreihen etwa unterworfen war, jedenfalls nur eine sehr unbedeutende gewesen sein

1) Herr cand. med. v. Brücke war so liebenswürdig, sich dieser Aufgabe zu unterziehen.

kann. Eine Reihe von Versuchen, welche ich mit anderen Versuchspersonen anstellte, konnten diese Ueberzeugung bei mir nur befestigen, weil auch hier die Schwankungsbreite keine erheblich grössere war wie für mich.

Die Tabellen I bis IV geben eine Uebersicht über die angestellten Versuche.

(Siebe Tab. I u. II S. 112, Tab. III u. IV S. 113, Tab. V S. 114.)

Folgende Bemerkungen mögen zur Erläuterung der nachstehenden Tabellen dienen. Die Columne mit der Ueberschrift „Grösse des Ringsectors" enthält die Werthe in Graden für diejenige Grösse desselben, welche dem aus der Versuchsreihe sich ergebenden mittleren Helligkeitswerth entsprechen würde, denn, wie erwähnt, war meist bei der von mir benutzten Versuchsmethode die Aenderung der Helligkeit des grauen Ringsectors auch von einer Aenderung seiner Grösse begleitet, die jedoch nie über 5° hinausging und meist nur ca. 2° betrug. Unter der Ueberschrift „Schwankungsbreite u. s. w." finden sich die Helligkeitswerthe[1]) des Grau angegeben, innerhalb deren das Urtheil, ob der Ring heller oder dunkler als die übrige Scheibe erschiene, zweifelhaft war.

Daneben finden sich die arithmetischen Mittel aus den Grenzwerthen, und in der folgenden Columne ist die Grösse der Schwankungsbreite in Procent des jeweiligen arithmetischen Mittels der Helligkeitswerthe des gleich hellen Grau enthalten.

Wie aus den Tabellen zu ersehen, stimmen die Versuche, bei welchen ich die Einstellungen mir nicht selbst besorgte, in ihren Resultaten sehr gut mit denjenigen der übrigen Versuchsreihen überein. Sowohl der absolute Werth der Mittelzahlen (bis auf den einen Helligkeitswerth für Grün III, 6, bei welcher Versuchsreihe ich versehentlich etwas zu weit von der Scheibe entfernt war, so dass der Ring wegen der Kleinheit des Ringsectors nur sehr schwer zu erkennen war), als auch die Grösse der Schwankungsbreiten zeigen keine erheblichen Abweichungen von einander bei beiden Arten der Versuchsreihen. Für Gelb und Blau ist die Schwankungsbreite sogar zufällig noch kleiner bei denjenigen Versuchen, die ich mir nicht selbst eingestellt habe, als bei den anderen. Eine Schwankungsbreite wie bei III, 9 findet sich auch sonst, wie z. B. I, 2—4 und IV, 2.

---

1) Die Helligkeitswerthe sind stets in Graden des weissen Barytpapieres ausgedrückt.

Tabelle I. Farbe: Blau.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau: Minimum	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau: Maximum	Arithmetisches Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmetischen Mittels	Grösse des Ringsectors in °	Bemerkungen
1	30. Juli 1901	Blauer Himmel	65,9	69,5	67,7	5,32	12,8	
2	3. August 1901	"	47,3	58,4	52,8	21,02	5,0	Versuchsreihen mit steigender Grösse des Ringsectors (Nr. 2–5)
3	3. " 1901	Bedeckt. Himmel	49,5	58,4	54,0	16,48	10,0	
4	3. " 1901	"	45,8	53,2	49,5	14,95	15,0	
5	3. " 1901	"	52,3	55,6	53,9	6,12	20,0	
6	8. " 1901	Heller Himmel	56,1	58,8	57,5	4,69	16,1	
7	17. " 1901	Blauer Himmel	54,3	55,5	54,9	2,19	10,0	Einstellungen durch v. Brücke besorgt. (Nr. 7–9)
8	25. Novbr. 1901	"	52,7	53,8	53,3	2,06	14,1	
9	21. April 1902	Bedeckt. Himmel	60,5	63,1	61,8	4,21	8,9	

Tabelle II. Farbe: Gelb.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau: Minimum	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau: Maximum	Arithmetisches Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmetischen Mittels	Grösse des Ringsectors in °	Bemerkungen
1	30. Juli 1901	Blauer Himmel	260,4	268,6	264,5	3,10	11,1	
2	5. August 1901	Bedeckt. Himmel	226,6	244,2	235,4	7,48	5,0	Versuchsreihen mit steigender Grösse des Ringsectors (Nr. 2–5)
3	5. " 1901	"	237,2	247,7	242,4	4,33	10,0	
4	5. " 1901	"	246,2	261,8	254,0	6,14	15,0	
5	5. " 1901	"	256,5	266,1	261,3	3,67	20,0	
6	10. " 1901	Blauer Himmel	237,7	242,1	239,9	1,83	9,5	
7	10. " 1901	"	242,0	245,1	243,5	1,27	11,3	Umgekehrte Methode!
8	25. Novbr. 1901	"	252,7	255,4	254,0	1,06	10,1	Einstellungen durch v. Brücke besorgt. (Nr. 8–9)
9	21. April 1902	Bedeckt. Himmel	271,2	276,6	273,9	1,97	8,25	

Tabelle III. Farbe: Grün.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau		Arithmetisches Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmetischen Mittels	Grösse des Ring-sectors in °	Bemerkungen
			Minimum	Maximum				
1	30. Juli 1901	Blauer Himmel	102,9	106,3	104,6	3,25	11,9	
2	31. „ 1901	Bedeckt. Himmel	110,6	110,8	110,7	0,18	14,9	
3	1. August 1901	„	109,7	112,8	111,3	2,79	17,8	
4	2. „ 1901	„	104,5	106,3	105,4	1,71	16,8	
5	15. „ 1901	Blauer Himmel	102,9	105,1	104,0	2,12	14,2	
6	13. Febr. 1902	„	92,2	94,2	93,2	2,14	9,8	Einstellungen durch v. Brücke besorgt
7	5. März 1902	„	104,4	109,8	107,1	5,04	12,2	
8	17. April 1902	„	108,5	112,1	110,3	3,26	10,8	Einstellungen durch v. Brücke besorgt.
9	22. „ 1902	Bedeckt. Himmel	98,5	112,6	105,6	13,35	7,5	

Tabelle IV. Farbe: Spectralroth[1]).

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Minimum	Maximum	Arithmetisches Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmetischen Mittels	Grösse des Ring-sectors in °	Bemerkungen
1	1. August 1901	Blauer Himmel	53,8	56,4	55,1	4,72	11,4	
2	7. „ 1901	Bedeckt. Himmel	69,5	77,3	73,4	10,62	10,0	
3	7. „ 1901	„	63,9	70,6	67,3	9,96	10,0	Umgekehrte Methode!
4	17. „ 1901	Blauer Himmel	54,2	55,8	55,0	2,90	11,8	Einstellungen durch v. Brücke besorgt.
5	5. März 1902	„	68,1	70,9	69,5	4,03	11,2	
6	17. April 1902	„	54,2	56,5	55,4	4,15	9,7	

1) Es handelte sich um ein Papier vom Tone des Spectralroth, welches im Gegensatz zu dem anderen (rein) rothen Papier, das benutzt wurde, immer kurz als „Spectralroth“ bezeichnet werden soll, während das rein rothe stets „Purpur“ genannt werden soll.

Tabelle V. Farbe: Purpur.

Versuchsnummer	Datum	Beleuchtung	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau		Arithmetisches Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmetischen Mittels	Grösse des Ring-sectors in °	Bemerkungen
			Minimum	Maximum				
1	2. August 1901	Bedeckt. Himmel	90,5	96,0	93,3	5,89	7,2	
2	12. August 1901	Blauer Himmel	103,5	105,4	104,4	1,81	12,1	
3	13. Febr. 1992	„	92,1	94,9	93,5	2,99	8,6	Einstellungen durch v. Brücke besorgt.
4	15. April 1902	„	95,4	96,3	95,9	0,94	9,2	(Einstellungen durch v. Brücke besorgt.)
5	15. April 1902	„	85,9	98,6	92,2	13,77	17,0	Umgekehrte Methode.

Tabelle VI. Farbe: Blau mit Zusatz von Schwarz.

Versuchsnummer	Datum	Beleuchtung	Zusammensetzung der Kreiselscheibe	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau		Arithmetisch. Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmet. Mittels	Grösse des Ringsectors in °
				Minimum	Maximum			
1	8. August 1901	Bedeckt. Himmel	330° Blau + 30° Schwarz (= 14° Weiss)	61,2	77,2	69,2	23,12	9,1
2	8. „ 1901	„	330° „ + 30° „	51,1	53,1	52,1	3,83	13,4
3	8. „ 1901	„	300° „ + 60° „	50,4	54,0	52,2	6,89	8,5
4	8. „ 1901	„	270° „ + 90° „	53,6	56,6	55,1	5,44	15,0
5	17. „ 1901	Blauer Himmel	180° „ + 180° „	62,2	67,3	64,6	7,89	7,9

Tabelle VII. Farbe: Gelb mit Zusatz von Weiss, Schwarz oder Grau.

Versuchsnummer	Datum	Beleuchtung	Zusammensetzung der Kreiselscheibe	Minimum	Maximum	Arithmetisch. Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmet. Mittels	Grösse des Ringsectors in °
1	10. August 1901	Blauer Himmel	270° Gelb + 90° Weiss	276,3	282,0	279,1	2,04	8,6
2	10. „ 1901	„	300° Gelb + 60° Schwarz (= 14° Weiss)	234,4	242,1	238,2	3,23	11,5
3	10. „ 1901	„	300° Gelb + 60° Grau (= 184,5° Weiss)	242,1	254,7	248,4	5,07	10,1

Die wenigen Versuchsreihen, welche ich nach der „umgekehrten“ Methode (aussen und innen Einfügung eines Sectors von variablem Grau) angestellt habe, gaben, wie die Tabellen zeigen, mit den in anderer Weise erhaltenen Helligkeitswerthen gut übereinstimmende Resultate, wenn auch zum Theil die Schwankungsbreite eine grössere war. Ich habe sie daher zur Berechnung der allgemeinen Mittelwerthe (vergl. unten Tab. XI) ebenfalls mit verwendet.

Auch eine Reihe von Bestimmungen, welche unter etwas veränderten Bedingungen gewonnen worden sind, habe ich unbedenklich für denselben Zweck verwertet. Um mich nämlich noch weiter von der Brauchbarkeit der Methode zu überzeugen, stellte ich einige Versuche in folgender Weise an: ich änderte die Zusammensetzung der Kreiselscheiben dadurch, dass ich graue Sectoren von verschiedener relativer Lichtstärke und Grösse an Stelle eines entsprechend grossen Sectors des farbigen Papieres setzte, so dass z. B. die Kreiselscheibe aus 270° Farbe + 90° Grau bestand. Bei der Rotation entstand dann eine weniger gesättigte Farbe vom Tone des verwendeten farbigen Papieres, welche entsprechend der Helligkeit des zugefügten Grau mehr weisslich oder schwärzlich erschien. Die Helligkeitsbestimmungen des benutzten farbigen Papieres machte ich dann in genau der gleichen Weise, wie oben beschrieben. Ich schob den Ringsector über das farbige Papier und ermittelte wieder denjenigen Helligkeitswerth des Grau, welcher gleich hell dem von dem grauen Ringsector bedeckten Stück des farbigen Papieres war.

Wie die Tabellen VI—X zeigen, stimmen die so gewonnenen Werthe sehr gut mit den oben (bei 360° Farbe) mitgetheilten überein.

(Siehe Tab. VI u. VII S. 114, Tab. VIII, IX u. X S. 116.)

Aus den Tabellen I—X ergibt sich, dass irgend welcher constanter Einfluss der bei den Versuchen herrschenden Stärken der Tagesbeleuchtung nicht vorhanden gewesen zu sein scheint. Es muss also der Adaptationszustand ein hinreichend constanter gewesen sein, und die zum Theil erheblichen Schwankungen in der absoluten Grösse der Mittelwerthe für eine und dieselbe Farbe, welche sich in den Beobachtungen an verschiedenen Tagen zu erkennen geben, sind wohl auf andere Ursachen zurückzuführen, welche ich aber nicht anzugeben weiss.

Auch die Grösse des Ringsectors, welche, wie aus den Tabellen zu ersehen ist, eine sehr verschiedene war, lässt einen Einfluss auf

Tabelle VIII. Farbe: Grün mit Zusatz von Weiss, Schwarz oder Grau.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Zusammensetzung der Kreiselscheibe	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau		Arithmetisch. Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmet. Mittels	Grösse des Ringsectors in °
				Minimum	Maximum			
1	15. August 1901	Blauer Himmel	180° Grün + 180° Schwarz (= 14° Weiss)	103,0	104,0	103,5	0,97	10,9
2	15. „ 1901	„	90° Grün + 270° Schwarz (= 14° Weiss)	108,9	114,9	111,9	5,36	8,4
3	15. „ 1901	„	270° Grün + 90° Weiss	103,4	105,8	104,6	2,29	13,1
4	15. „ 1901	„	180° Grün + 180° Grau (= 184,5° Weiss)	112,0	116,5	114,3	3,96	9,5

Tabelle IX. Farbe: Spectralroth mit Zusatz von Schwarz oder Grau.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Zusammensetzung der Kreiselscheibe	Minimum	Maximum	Arithmetisch. Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmet. Mittels	Grösse des Ringsectors in °
1	17. August 1901	Blauer Himmel	90° Roth + 270° Grau (= 125° Weiss)	52,9	55,6	54,2	4,98	13,3
2	17. „ 1901	„	180° Roth + 180° Schwarz (= 14° „)	57,0	59,6	58,3	4,46	10,8

Tabelle X. Farbe: Purpur mit Zusatz von Weiss oder Schwarz.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Zusammensetzung der Kreiselscheibe	Minimum	Maximum	Arithmetisch. Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmet. Mittels	Grösse des Ringsectors in °
1	12. August 1901	Blauer Himmel	270° Purpur + 90° Weiss	96,1	97,1	96,6	1.04	10,8
2	12. „ 1901	„	180° Purpur + 180° Weiss	99,0	102,4	100,7	3,36	9,5
3	12. „ 1901	„	270° Purpur + 90° Schwarz (= 14° Weiss)	93,8	101,0	97,4	7,39	9,2
4	12. „ 1901	„	180° Purpur + 180° Schwarz (= 14° Weiss)	88,5	93,9	91,2	5,92	7,1

die Helligkeitswerthe nur insofern erkennen, als es, wie gesagt, für jede Farbe ein Optimum des Sättigungsunterschiedes zwischen dem minder gesättigten Ring und der gesättigten Farbe der übrigen Scheibe (bezw. umgekehrt) gibt, bei welcher die Helligkeitsvergleichung zwischen Ring und Scheibe am leichtesten ist. Ist der Ringsector zu klein, so wird der Ring schwer erkennbar, ist er zu gross, so ist die Sättigungsdifferenz so erheblich, dass das Urtheil sehr erschwert wird. Beides gibt sich wohl in einer grösseren Schwankungsbreite zu erkennen, aber der Mittelwerth wird weiter nicht in der einen oder anderen Richtung verschoben. Als Beispiele dafür, dass ein zu kleiner Ringsector die Schwankungsbreite vergrössert, seien die Versuchsreihen I, 2 und II, 2 erwähnt, bei welchem der Ringsector nur 5° betrug. Als Beweis dafür, dass eine zu grosse Sättigungsdifferenz in Folge zu grossen Ringsectors störend wirkt, diene die Thatsache, dass eine Versuchsreihe für Spectralroth[1]) abgebrochen werden musste, bei welcher der Ringsector constant 15° betrug, weil ein sicheres Urtheil nicht mehr abgegeben werden konnte.

Dass der Grösse des Ringsectors ein merklicher Einfluss auf die absolute Grösse des Helligkeitswerths des farbigen Papiers nicht zukommt, ersieht man auch aus den Versuchsreihen I, 2—5 und II, 2—5, welche speciell zur Untersuchung dieses Umstandes unmittelbar hinter einander angestellt wurden. Die Grösse des Ringsectors wurde dabei innerhalb einer Versuchsreihe constant erhalten und betrug 5°, 10°, 15°, 20°. Für Gelb hat es allerdings den Anschein, als fände eine Zunahme des ermittelten Helligkeitswerthes mit wachsender Grösse des Ringsectors statt. Demgegenüber aber stehen die analogen Versuche für Blau, bei welchen die Werthe nahezu ganz constant sind. Die Abweichung für Gelb darf demnach wohl für zufällig gehalten werden, was um so wahrscheinlicher ist, als bei anderen Versuchen irgend eine constante Aenderung im einen oder anderen Sinne abhängig von der Grösse des Ringsectors sich nicht feststellen lässt.

Die folgende Tabelle XI gibt eine Uebersicht über die aus den Tabellen I—X berechneten allgemeinen mittleren Helligkeitswerthe für die von mir untersuchten farbigen Papiere.

---

1) Vgl. Anm. auf S. 113.

Tabelle XI. Aus den Tabellen I—X berechnete mittlere Helligkeitswerthe der untersuchten farbigen Papiere.

Blau	Gelb	Grün	Spectralroth	Purpur
57,0	252,9	106,7	61,0	96,1

V.

Nachdem Brücke in der oben S. 92 f. angegebenen Weise die Helligkeit einer Reihe farbiger Papiere ermittelt hatte, brachte er je zwei verschiedenfarbige Scheiben auf den Farbenkreisel, „um zu untersuchen, ob zwei verschiedene Farben auf der Netzhaut über einander geworfen eine Helligkeit geben, welche zwischen den beiden Helligkeiten steht, welche jede einzelne bei verdoppelter physikalischer Intensität gegeben haben würde, beziehungsweise, ob zwei Farben von gleicher Helligkeit auf der Netzhaut über einander geworfen eine Mischfarbe geben von einer Helligkeit gleich der, welche jede einzelne von ihnen bei verdoppelter physikalischer Helligkeitsintensität gegeben haben würde.“ (Brücke l. c. S. 440.) Brücke fand dieses bestätigt, und von verschiedenen Seiten ist dann dieses Verfahren zur Controle benutzt worden, um festzustellen, ob eine Methode zur Bestimmung der Helligkeit farbiger Papiere brauchbar sei oder nicht. Zeigte sich eine genaue Uebereinstimmung zwischen dem beobachteten Helligkeitswerth des Gemisches aus den beiden Farben und dem (auf Grund der für jede einzelne derselben gefundenen Helligkeitswerthe) berechneten Werthe, so galt die betreffende Methode für zuverlässig.

Analoge Versuche habe auch ich mit den Papieren gemacht, deren Helligkeit in der beschriebenen Weise bestimmt worden war, bin dabei aber zu einem wesentlich anderen Ergebniss gekommen.

Die farbigen Papiere, welche ich verwendete, zeigten alle eine für Pigmente grosse Sättigung. Von ihnen waren Blau und Gelb fast vollkommen gegenfarbig: in passendem Verhältniss gemischt gaben sie ein fast neutrales Grau. Ich brachte nun auf dem Farbenkreisel eine grosse blaue und eine ebensolche gelbe Scheibe an, welche durch Schlitzung längs eines Radius gegen einander verschoben werden konnten. Gleichzeitig wurden auf der Achse des Farben-

kreisels eine kleinere weisse und eine ebensolche schwarze Scheibe, welche ebenfalls gegen einander verschiebbar waren, befestigt. Durch passende Veränderung in der Einstellung der vier Scheiben liess es sich erreichen, dass aussen und innen ein Grau von derselben Helligkeit entstand.

Die Resultate, welche ich bei diesen Versuchen erhielt, sind in der Tabelle XII auf S. 120 zusammengestellt.

Bei der Berechnung der auf die farbigen Componenten entfallenden Helligkeitswerthe sind die allgemeinen Mittelwerthe benutzt worden, welche oben in Tabelle XI mitgetheilt worden sind.

Zur Erläuterung sei ferner Folgendes bemerkt. In Columne 2 und 3 ist die Grösse der Sectoren angegeben, welche die farbigen Papiere bei dem Versuche auf dem äusseren Ring einnahmen. Die folgenden zwei Spalten dagegen zeigen die Zusammensetzung der kleineren aus Schwarz und Weiss gemischten grauen Scheibe, welche gleich hell dem Grau des äusseren Ringes erschien. Der Helligkeitswerth der kleineren Scheibe aus Schwarz und Weiss ist in der vorletzten Spalte zu finden, — ich nenne ihn den „beobachteten Helligkeitswerth" des Gemisches aus den beiden Farben. Die Columne mit der Ueberschrift „Helligkeitswerth des Schwarz" enthält den Helligkeitswerth, welcher dem Sector aus schwarzem Papier entsprach, dessen relative Lichtstärke für 360° gleich 14° des Normalweiss betrug.

Spalte 6 und 7 enthalten die, unter Zugrundelegung der in Tabelle XI enthaltenen Werthe, für die betreffende Sectorengrösse *berechneten* Helligkeitswerthe der farbigen Papiere. Spalte 8 enthält die Summe aus Spalte 6 und 7. Die letzte Columne zeigt die Differenz zwischen dem beobachteten und dem berechneten Helligkeitswerthe des Gemisches.

Wie man sieht, ist diese Differenz bei sämmtlichen Versuchen positiv, d. h. der beobachtete Werth ist stets grösser ausgefallen als der unter Zugrundelegung der Helligkeitswerthe der einzelnen Farben berechnete Werth. Diese Differenz ist recht erheblich und beträgt für die in Tabelle XII enthaltenen Versuche im Mittel 21,96° des Normalweiss, d. h. sie beträgt den 8,5ten Theil des beobachteten Helligkeitswerthes des Gemisches oder etwa 11,5% desselben.

Da die in Tabelle XI enthaltenen Helligkeitswerthe zum Theil aus Versuchen berechnet worden sind, welche an anderen Tagen als die besprochenen Summirungsversuche, wie man sie nennen kann,

Tabelle XII. Gleichungen zwischen Blau + Gelb und Schwarz (= 14 Weiss) + Weiss.
Berechnet unter Benutzung der allgemeinen Mittelwerthe in Tabelle XI.

Versuchs-nummer	Blau +	Gelb =	Schwarz +	Weiss	Berechneter Helligkeitswerth des Blau	Berechneter Helligkeitswerth des Gelb	Berechneter Gesammtwerth des Blau + Gelb	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem und berechnetem Helligkeitswerth
1	193,0	167,0	195,5	164,5	30,56	117,32	147,88	7,63	172,13	+ 24,25
2	190,0	170,0	197,0	163,0	30,08	119,43	149,51	7,66	170,66	+ 21,15
3	199,0	161,0	204,0	156,0	31,51	113,11	144,62	7,93	163,93	+ 19,31
4	189,0	171,0	194,0	166,0	29,93	120,13	150,06	7,54	173,54	+ 23,48
5	191,0	169,0	198,0	162,0	30,24	118,72	148,96	7,70	169,70	+ 20,74
6	197,0	163,0	205,0	155,0	31,19	114,51	145,70	7,97	162,97	+ 17,27
7	193,0	167,0	195,0	165,0	30,56	117,32	147,88	7,58	172,58	+ 24,70
8[1]	187,5	172,5	194,5	165,5	29,69	121,19	150,88	7,56	173,06	+ 22,18
9[1]	191,0	169,0	194,0	166,0	30,24	118,72	148,96	7,54	173,54	+ 24,58

Tabelle XIII. Gleichungen zwischen Blau + Gelb und Schwarz (= 14 Weiss) + Weiss.
Berechnet unter Benutzung unmittelbar vorher bestimmter Helligkeitswerthe der farbigen Papiere.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Blau +	Gelb =	Schwarz +	Weiss	Vorher bestimmter Helligkeitswerth für Blau	Vorher bestimmter Helligkeitswerth für Gelb	Berechneter Helligkeitswerth des Blau	Berechneter Helligkeitswerth des Gelb	Berechn. Gesammtwerth d. Blau + Gelb	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem u. berechnetem Helligkeitsw.
1	25. Nov. 1901	Blauer Himmel	187,5	172,5	194,5	165,5	53,3[2])	254,0[2])	27,76	121,68	149,44	7,56	173,06	+ 23,62
2	21. Apr. 1902	Bedeckt. Himmel	191,0	169,0	194,0	166,0	61,8	273,9	32,79	128,58	161,37	7,54	173,54	+ 12,17

1) Vgl. Tabelle XIII. 2) Einstellungen des Ringsectors durch v. Brücke besorgt.

angestellt worden sind, also bei etwas anderer Beleuchtung, so habe ich bei zwei Versuchen die Helligkeitswerthe unmittelbar vor Anstellung der hierher gehörenden Versuche ermittelt. Es ist also in diesen Fällen die Beleuchtung nahezu vollkommen die gleiche für alle Einzelversuche der ganzen Reihe gewesen. Die betreffenden Versuche finden sich in Tabelle XIII. Es sind dieselben Versuche, welche bereits als 8. und 9. Versuch in Tabelle XII auf Grund der allgemeinen Mittelwerthe verwendet sind.

(Siehe Tab. XIII S. 120.)

Beim ersten Versuche ist das Vorzeichen und auch die absolute Grösse der Differenz zwischen beobachtetem und berechnetem Helligkeitswerth des Gemisches in Uebereinstimmung mit den Werthen, welche in Tabelle XII mitgetheilt sind. Bei dem zweiten Versuch der Tabelle XIII ist die Grösse der Differenz allerdings kleiner, aber das Vorzeichen ist dasselbe.

Wie erwähnt, waren das benutzte blaue und gelbe Papier einander fast vollkommen gegenfarbig, es blieb aber eine Spur von Röthlichkeit des Mischgrau übrig, welche sich nicht beseitigen liess. Dadurch wurde natürlich die Vergleichung mit der inneren grauen Scheibe erschwert. Um völlige Gleichheit zwischen Aussen und Innen zu erzielen, habe ich bei zwei Versuchen aussen einen kleinen Sector von grünem Papier von bereits festgestelltem Helligkeitswerthe zugesetzt, wodurch auch der letzte Rest von Farbigkeit zum Verschwinden gebracht wurde. Der sehr geringe Grünzusatz kommt für die Helligkeit kaum in Betracht, weil der Helligkeitswerthantheil, der auf ihn entfällt, nur ein sehr geringer ist, wie aus der Tabelle XIV auf S. 122 zu ersehen ist.

Die Versuche dieser Tabelle sind auf Grund der allgemeinen Mittelwerthe der Tabelle XI berechnet. Bei Versuch 2 hatte ich aber ausserdem noch unmittelbar vorher die Helligkeitswerthe der farbigen Papiere bestimmt, welche in der Tabelle XV bei der Berechnung des Versuchs verwendet sind.

Auch bei diesen Versuchen sind die Abweichungen des berechneten vom beobachteten Werthe alle in demselben Sinne wie bei den anderen Beobachtungen, bei denen nur Gelb und Blau gemischt wurden. Mit Ausnahme des Versuchs in Tabelle XV ist die absolute Grösse der Differenz ebenfalls fast dieselbe.

Aus den vorstehend mitgetheilten Versuchen ergibt sich also, dass bei dem von mir benutzten blauen und gelben Papier eine

Tabelle XIV. Gleichungen zwischen Blau + Gelb + Grün und Schwarz (= 14° Weiss) + Weiss. Berechnet unter Benutzung der allgemeinen Mittelwerthe in Tabelle XI.

Versuchs-nummer	Blau +	Gelb +	Grün =	Schwarz +	Weiss	Berechneter Helligkeitswerth des Blau	Gelb	Grün	Berechneter Gesammtwerth des Blau + Gelb + Grün	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem u. berechnetem Helligkeitsw.
1	188,5	156,5	15,0	198,5	161,5	29,85	109,94	4,45	144,24	7,72	169,22	+ 24,98
2	184,0	159,5	16,5	202,0	158,0	29,13	112,05	4,89	146,07	7,86	165,86	+ 19,79

Tabelle XV. Gleichung zwischen Blau + Gelb + Grün und Schwarz (= 14 Weiss) + Weiss. Berechnet unter Benutzung unmittelbar vorher bestimmter Helligkeitswerthe der farbigen Papiere.

Datum	Beleuchtung	Blau +	Gelb +	Grün =	Schwarz +	Weiss	Vorher bestimmter Helligkeitswerth für Blau	Gelb	Grün
30. Juli 1901	Blauer Himmel	184,0	159,5	16,5	202,0	158,0	67,7	264,5	104,6

Berechneter Helligkeitswerth Blau	Gelb	Grün	Berechneter Gesammtwerth des Blau + Gelb + Grün	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem und berechnetem Helligkeitswerth
84,60	117,19	4,79	156,58	7,86	165,86	+ 9,28

genaue Summirung ihrer Helligkeitswerthe entsprechend dem Antheil, den jede Farbe an dem Gemisch hat, nicht stattfindet, sondern dass eine constante Abweichung in dem Sinne vorhanden ist, dass der aus den Helligkeitswerthen der einzelnen Farben berechnete Helligkeitswerth des Gemisches stets zu klein ausgefallen ist gegenüber dem wirklich beobachteten Helligkeitswerth. Die absolute Grösse dieser Differenz ist fast stets eine recht erhebliche.

Während das blaue und gelbe Papier fast völlig gegenfarbig waren, war dies bei dem von mir verwendeten grünen Papier einerseits und dem Spectralroth und Purpurroth andererseits nicht der Fall. Es liess sich kein Mischungsverhältniss finden, bei dem sich — sowohl für Grün und Spectralroth als für Grün und Purpur — nicht eine ziemlich starke Gelblichkeit in der Mischung bemerkbar gemacht hätte. Es waren daher die Summirungsversuche sehr erschwert, und ich sah mich schliesslich gezwungen, zur Beseitigung der Gelblichkeit stets einen kleinen Sector des blauen Papiers (von festgestelltem Helligkeitswerth) hinzuzufügen, der, wenn er auch nicht gross war, doch etwas mehr in's Gewicht fiel wie der kleine Grünsector bei den Versuchen mit Gelb und Blau.

Ich theile in den Tabellen XVI und XVII zunächst die Resultate mit, welche die Versuche mit der Mischung aus Grün und Spectralroth (mit Zusatz von Blau) ergeben haben.

(Siehe Tab. XVI u. XVII auf S. 124.)

In der Tabelle XVI sind die Mittelwerthe der Tabelle XI verwendet, während in Tabelle XVII die Versuche 3—5 der Tabelle XVI nach den unmittelbar vor Anstellung der Versuche ermittelten Helligkeitswerthen der farbigen Papiere berechnet sind[1]).

Wie aus Tabelle XVI zu ersehen, ist eine constante Differenz zwischen dem beobachteten und berechneten Helligkeitswerth des Gemisches gegeben, und zwar in dem Sinne, dass der beobachtete Werth stets kleiner als der berechnete ist. Die absolute Grösse dieser Differenz ist aber so gering (sie beträgt durchschnittlich nur 4 % des Helligkeitswerthes des Gemisches), dass auf Grund dieser Versuche allein sich jedenfalls nicht behaupten liesse, dass keine genaue Summirung der Helligkeitswerthe der beiden Componenten des Farbengemisches stattfinde. Man kann das um so weniger, als auch die Resultate der Tabelle XVII nicht dafür zu verwerthen sind.

1) Für Blau ist freilich auch hier der allgemeine Mittelwerth verwendet worden, was aber wegen der geringen Grösse des blauen Sectors belanglos ist.

Tabelle XVI. Gleichungen zwischen Spectralroth + Grün + Blau und Schwarz (= 14 Weiss) + Weiss. Berechnet unter Benutzung der allgemeinen Mittelwerthe in Tabelle XI.

Versuchs-nummer	Roth +	Grün +	Blau =	Schwarz +	Weiss	Berechneter Helligkeitswerth des Roth	Grün	Blau	Berechneter Gesammtwerth des Roth + Grün + Blau	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem u. berechnetem Helligkeitsw.
1	185,0	142,5	32,5	294,5	65,5	31,35	42,23	5,15	78,73	11,45	76,95	— 1,78
2	176,0	144,0	40,0	293,0	67,0	29,82	42,68	6,33	78,83	11,39	78,39	— 0,44
3	185,0	140,0	35,0	294,5	65,5	31,35	41,49	5,54	78,38	11,45	76,95	— 1,43
4[1]	223,5	136,5	—	299,25	60,75	37,87	40,46	—	77,33	11,63	72,38	— 4,95
5[1]	201,0	127,0	32,0	298,5	61,5	34,06	37,64	5,06	76,76	11,61	73,11	— 3,65

Tabelle XVII. Gleichungen zwischen Spectralroth + Grün + Blau und Schwarz (= 14 Weiss) + Weiss. Berechnet unter Benutzung unmittelbar vorher bestimmter Helligkeitswerthe der farbigen Papiere.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Roth +	Grün +	Blau =	Schwarz +	Weiss	Vorher bestimmter Helligkeitswerth für Roth	Grün	Blau[2]
1	1. August 1901	blauer Himmel	185,0	140,0	35,0	294,5	65,5	55,1	111,3	57,0
2	5. März 1902	„ „	223,5	136,5	—	299,25	60,75	69,5[3]	107,1[3]	—
3	17. April 1902	„ „	201,0	127,0	32,0	298,5	61,5	55,4	110,3	57,0

Berechneter Helligkeitswerth des Roth	Grün	Blau	Berechneter Gesammtwerth	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem und berechnetem Helligkeitswerth
28,32	43,28	5,54	77,14	11,45	76,95	— 0,19
43,15	40,61	—	83,76	11,63	72,38	— 11,38
30,93	38,91	5,06	74,74	11,61	73,11	— 1,63

1) Vgl. Tabelle XVII. 2) Allgemeiner Mittelwerth aus Tabelle XI. 3) Einstellungen durch v. Brücke besorgt.

Die relativ grosse Differenz zwischen beiden in Frage kommenden Werthen bei dem Versuche XVI, 4 und XVII, 2 ist wohl dadurch zu erklären, dass hier durch den fehlenden Zusatz von Blau die starke Gelblichkeit des Gemisches störend wirkte. Es liegt also offenbar ein Beobachtungsfehler vor.

Aehnliches wie bei den Versuchen mit Spectralroth und Grün ergab sich auch bei denen mit Purpur und Grün. Hier war die bei der Mischung nicht zu beseitigende Gelblichkeit sehr viel geringer; sie erforderte also einen kleineren Blauzusatz wie bei den Versuchen mit Grün und Spectralroth.

Tabelle XVIII enthält die Resultate der Versuche, welche unter Benutzung der Mittelwerthe der Tabelle XI berechnet sind.

(Siehe Tab. XVIII auf S. 126.)

Auch hier zeigt sich eine constante Differenz zwischen dem berechneten und dem beobachteten Helligkeitswerthe des Gemisches, und zwar ist der berechnete Werth stets zu gross ausgefallen. Die absolute Grösse der Differenz ist hier erheblicher als bei den Versuchen mit Grün und Spectralroth und geht bis zu 8 % des beobachteten Helligkeitswerthes des Gemisches. Gleichwohl ist auch darauf kein Gewicht zu legen, weil bei Zugrundelegung der unmittelbar vor Anstellung der Summirungsversuche bestimmten Helligkeitswerthe der farbigen Papiere nahezu völlige Uebereinstimmung zwischen beiden in Rede stehenden Werthen vorhanden ist. Die Tabelle XIX enthält die diesbezüglichen Berechnungen der Versuche, welche in Tabelle XVIII unter 3 und 4 nach den allgemeinen Mittelwerthen berechnet sind.

(Siehe Tab. XIX auf S. 126.)

Freilich muss der Versuch 2 anders beurtheilt werden, weil der Grünwerth wahrscheinlich nicht richtig, und zwar zu klein bestimmt worden ist. Darüber habe ich bereits oben S. 111 das Nöthige gesagt[1]). Unter Berücksichtigung dieses Umstandes freilich würde sich auch für diesen Fall eine mit den anderen Versuchen gleichsinnige Differenz ergeben.

VI.

Es war mir die Möglichkeit gegeben, eine Reihe von Helligkeitsbestimmungen nach der oben beschriebenen Methode an den von

1) Der Werth ist der in Tabelle III, 6 angegebene.

Tabelle XVIII. Gleichungen zwischen Purpur + Grün + Blau und Schwarz (= 14 Weiss) + Weiss. Berechnet unter Benutzung der allgemeinen Mittelwerthe in Tabelle XI.

Versuchs-nummer	Purpur +	Grün +	Blau =	Schwarz +	Weiss	Berechneter Helligkeitswerth des Purpur	Grün	Blau	Berechneter Gesammtwerth des Purpur + Grün + Blau	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem u. berechnetem Helligkeitsw.
1	154,0	184,5	21,0	280,0	80,0	41,11	54,68	3,32	99,11	10,89	90,89	— 8,21
2	159,5	175,5	24,0	277,5	82,5	42,58	52,02	3,80	98,40	10,79	93,29	— 5,11
3[1]	158,5	182,5	19,0	275,0	85,0	42,31	54,09	3,00	99,40	10,69	95,69	— 3,71
4[1]	182,0	178,0	—	275,5	84,5	48,58	52,76	—	101,34	10,71	95,21	— 6,13

Tabelle XIX. Gleichungen zwischen Purpur + Grün + Blau und Schwarz (= 14 Weiss) und Weiss. Berechnet unter Benutzung unmittelbar vorher bestimmter Helligkeitswerthe der farbigen Papiere.

Versuchs-nummer	Datum	Beleuchtung	Purpur +	Grün +	Blau =	Schwarz +	Weiss	Vorher bestimmter Helligkeitswerth für Purpur	Grün	Blau
1	2. August 1901	Bedeckter Himmel	158,5	182,5	19,0	275,0	85,0	93,3	105,4	57,8[2]
2	13. Febr. 1902	Blauer Himmel	182,0	178,0	—	275,5	84,5	93,5[3]	93,2[3]	—

Berechneter Helligkeitswerth des Purpur	Grün	Blau	Berechneter Gesammtwerth	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem und berechnetem Helligkeitswerth
41,08	53,43	3,08	97,59	10,69	95,69	— 1,90
47,27	46,08	—	93,35	10,71	95,21	+ 1,86

1) Vgl. Tabelle XIX. 2) Allgemeiner Mittelwerth aus Tabelle XI. 3) Einstellungen durch v. Brücke besorgt.

mir benutzten, farbigen Papieren auch an einem Rothgrünblinden, welcher dem Typus der sogen. Grünblinden angehörte, anzustellen. Herr cand. med. v. Brücke stellte sich mir dabei in bereitwilligster Weise zur Verfügung.

Die ermittelten Helligkeitswerthe sind in Tabelle XX mitgetheilt.

(Siehe Tab. XX auf S. 128.)

Es sei bemerkt, dass der Farbenblinde das grüne Papier als annähernd neutral grau mit einem Stich in's Gelbliche bezeichnete, desgleichen das als Purpurroth benannte Papier. Das Papier vom Tone des Spectralroth dagegen bezeichnete er als gesättigtes dunkles Gelb.

Es ist beachtenswerth, dass die Helligkeitswerthe für das blaue, gelbe und grüne Papier ziemlich gut mit den von mir selbst gefundenen Werthen übereinstimmen, was besonders deutlich bei Vergleichung mit den Einzelwerthen der Tabellen I—III zu ersehen ist. Entschieden dunkler aber als mir und einer anderen Versuchsperson, für welche der Helligkeitswerth zu 102·8 bestimmt wurde, erschien dem Farbenblinden das purpurfarbige Papier. Auch der Helligkeitswerth für Spectralroth schien für den Farbenblinden ein geringerer zu sein. Unter der Annahme einer specifischen Helligkeit der Farben würde sich dies daraus erklären, dass für den Rothgrünblinden die erhellende Wirkung der rothen Empfindungscomponente wegfällt. Dass bei Grün sich kein anderer Helligkeitswerth wie für mich ergeben hat (gemäss einer specifischen Dunkelheit des Grün wäre ein höherer Werth zu erwarten gewesen), kann damit zusammenhängen, dass das grüne Papier dem Farbentüchtigen relativ nicht so gesättigt erschien wie das spectralrothe und das purpurfarbige Papier.

Einen analogen Summirungsversuch wie für mich habe ich auch für den Farbenblinden mit Blau und Gelb angestellt. Derselbe ist, der Vergleichbarkeit halber, ebenfalls in Form einer Tabelle wiedergegeben.

(Siehe Tab. XXI auf S. 128.)

Die Berechnung erfolgte unter Benutzung der unmittelbar vorher bestimmten Helligkeitswerthe der farbigen Papiere.

Das Resultat dieses Summirungsversuches ist genau das nämliche, wie ich es auch bei meinen eigenen Beobachtungen erhalten habe. Der berechnete Helligkeitswerth des Gemisches ist ebenfalls kleiner wie der beobachtete, und die Grösse der Differenz stimmt sehr gut zu dem entsprechenden Werth, der sich aus meinen Beobachtungen ergeben hatte. (Vgl. Tab. XII und XIII.) In dieser Beziehung

Tabelle XX. Helligkeitsbestimmungen eines Rothgrünblinden.

Farbe	Datum	Beleuchtung	Schwankungsbreite der Helligkeitswerthe des Grau		Arithmetisches Mittel	Grösse der Schwankungsbreite in % des arithmischen Mittels	Grösse des Ringsectors in °
			Minimum	Maximum			
Blau	26. October 1901	Blauer Himmel	59,8	65,1	62,4	8,49	12,4
Gelb	26. „ 1901	„	240,3	243,6	242,0	1,36	10,5
Grün	25. „ 1901	Bedeckt. Himmel	94,9	110,9	102,9	15,55	10,4
„	6. März 1902	Blauer Himmel	101,9	103,7	102,8	1,75	18,9
Spectralroth	6. „ 1902	„	44,3	45,7	45,0	3,01	12,9
„	9. Mai 1902	„	51,6	58,6	55,1	12,69	10,6
Purpur	25. October 1901	Bedeckt. Himmel	79,9	86,5	83,2	7,93	7,8
„	29. „ 1901	Blauer Himmel	79,0	82,7	80,9	4,57	8,7

Tabelle XXI. Gleichung für den Rothgrünblinden zwischen Blau + Gelb und Schwarz (= 14 Weiss) + Weiss. Berechnet unter Benutzung der unmittelbar vorher bestimmten Helligkeitswerthe der farbigen Papiere in Tabelle XX.

Datum	Beleuchtung	Blau + Gelb = Schwarz + Weiss				Berechneter Helligkeitswerth des		Berechneter Gesammtwerth des Blau + Gelb	Helligkeitswerth des Schwarz	Beobachteter Helligkeitswerth	Differenz zwischen beobachtetem u. berechnetem Helligkeitsw.
						Blau	Gelb				
26. Oct. 1901	Blauer Himmel	196,5	163,5	198,0	162,0	34,06	109,91	143,97	7,70	169,70	+ 25,73

zeigt sich also, wie zu erwarten war, der Rothgrünblinde in Uebereinstimmung mit dem Farbentüchtigen.

Die mitgetheilten Ergebnisse der Summirungsversuche stehen im Widerspruch zu den Resultaten, welche frühere Beobachter erhalten haben. Diese haben nämlich fast alle ebenso wie Brücke gefunden, dass eine nahezu völlige Uebereinstimmung zwischen dem auf Grund der Helligkeitswerthe der Componenten berechneten Helligkeitswerthe eines Farbengemisches und dem thatsächlich beobachteten Werthe desselben besteht (cf. oben S. 118). Die Abweichungen, welche zuweilen vorhanden waren, wurden dementsprechend als Versuchsfehler angesprochen.

Die mitgetheilten Resultate — insbesondere der Versuche für Blau und Gelb — zeigen aber Abweichungen in dieser Beziehung, welche wegen ihrer absoluten Grösse und der Gleichsinnigkeit ihres Auftretens nicht als Versuchsfehler gedeutet werden können. Vielmehr müssen wir es wahrscheinlich finden, dass eine genaue Uebereinstimmung der in Rede stehenden Werthe nicht vorhanden ist.

Die Gründe dafür anzugeben, warum frühere Beobachter bisher zu anderen Ergebnissen gelangt sind, dürfte kaum möglich sein. —

Zum Schlusse sei mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Hering, sowohl für die Anregung zu der vorliegenden Arbeit wie für die Unterstützung bei der Durchführung derselben meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium in Bonn.)

Ueber die von Kutscher und Steudel beobachtete Unsicherheit in der Methode der Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl.

Von

Bernhard Schöndorff.

In der Zeitschrift für physiologische Chemie Bd. 39 Heft 1 S. 12—21 veröffentlichen Kutscher und Steudel eine Untersuchung über die Anwendung der Kjeldahl'schen Stickstoffbestimmungsmethode bei verschiedenen für die Physiologie in Betracht kommenden stickstoffhaltigen Körpern.

Während es längst bekannt wäre, dass bei ganzen Gruppen von Körpern die Methode versagte, Nitro-, Cyan- u. s. w. Verbindungen liessen sich nicht oder doch nur nach gewissen Vorbereitungen nach Kjeldahl analysiren, so gelte es von sämmtlichen stickstoffhaltigen Verbindungen, die physiologisch in Betracht kämen, für feststehend, dass sie quantitativ ihren Stickstoff bei der Veraschung nach Kjeldahl als Ammoniak abgäben, und sie hätten in der äusserst umfangreichen Stoffwechselliteratur, in der alle erdenklichen Fragen behandelt würden, keine einzige Arbeit gefunden, in der dieses Fundamentaldogma der modernen Stoffwechselmethodik auch nur einem leichten Zweifel begegnet wäre[1]).

Kutscher und Steudel fanden bei der Untersuchung verschiedener Amidsubstanzen, dass sie bei Anwendung der Kjeldahl-schen Methode, indem sie bei der Oxydation zur Schwefelsäure Kupfersulfat und Kaliumpermanganat zusetzten, nicht allen Stickstoff als Ammoniak erhielten. Und zwar stellte sich nicht ein gleichmässiger Stickstoffverlust ein, sondern derselbe war verschieden gross.

---

1) Im Original nicht gesperrt gedruckt.

Sie führten die Bestimmung so aus, dass sie 0,15—0,2 g Substanz mit 10 ccm concentrirter Schwefelsäure und einem bohnengrossen Stück $CuSO_4$ etwa 10 Minuten bis zum lebhaften Sieden erhitzten, erkalten liessen und dann mit einer Messerspitze Kaliumpermanganat oxydirten, wieder bis zum Sieden erhitzten und das Reactionsgemisch in bekannter Weise weiter behandelten.

Sie fanden z. B. bei der Untersuchung von Kreatin, dessen berechneter N-Gehalt in krystallwasserhaltigem Kreatin 28,23 % N beträgt:

23,84 % N	Verlust	— 4,39 %,
24,63 % N	„	— 3,60 %,
22,23 % N	„	— 6,00 %,
27,31 % N	„	— 0,92 %,
26,10 % N	„	— 2,13 %.

Die Substanz, nach Dumas analysirt, ergab 28,65 %, also die theoretische Zahl.

Dann modificirten sie die Menge des zugesetzten $CuSO_4$ oder liessen die Oxydation mit Kaliumpermanganat oder mit Kupfersulfat weg oder veränderten die Zeitdauer des Kochens; sie erhielten dann Differenzen bis zu — 7,37 %, zuweilen aber auch den theoretisch berechneten Werth.

Die Untersuchung des Kreatinins nach Kjeldahl ergab Differenzen von 6,25 % bis 16,06 %.

Auch bei der Untersuchung der Harnsäure ergaben sich, wenn auch nicht so grosse Unterschiede, aber doch Differenzen bis zu 1,37 %, zuweilen auch die theoretisch berechnete Menge.

Ebenso fanden sie auch bei der Untersuchung von Lysin und Histidin derartige grosse Stickstoffverluste.

Diese Beobachtungen stehen im Widerspruch mit Untersuchungen, die im hiesigen Institut schon vor vielen Jahren, von Argutinsky[1]) im Jahre 1890 und von mir[2]) im Jahre 1896, veröffentlicht wurden. Dieselben haben mit unzweifelhafter Sicherheit festgestellt, dass bei den für die Physiologie in Betracht kommenden Stickstoffverbindungen die Kjeldahl'sche

---

1) Dieses Archiv Bd. 46 S. 591.

2) Dieses Archiv Bd. 62 S. 1—57.

Methode den gesammten Stickstoff ergibt, so dass also in der Literatur ein Zweifel an dieser Thatsache gar nicht gefunden werden konnte.

Wir bestimmten den Stickstoff derartig, dass wir die Substanz mit 25 ccm concentrirter Schwefelsäure und 0,1 ccm metallischen Quecksilbers längere Zeit, ca. 1 Stunde, wenn nöthig noch länger, kochten und nicht nur bis zum Sieden erwärmten und dann nach Zusatz von Natronlauge und Natriumsulfid das gebildete Ammoniak in eine vorgelegte, titrirte Schwefelsäure überdestillirten.

Nach Argutinsky's Untersuchung ergab auf diese Weise analysirt:

Benzidin . . .	gefunden	15,17 % N,	berechnet	15,22 %
Harnstoff . . .	„	46,61 % N,	„	46,67 %
Hippursäure . .	„	8,0 % N,	„	7,82 %
Benzoyltoluidin .	„	6,51 % N,	„	6,63 %
Tyrosin . . .	„	7,93 % N,	„	7,73 %
Leucin . . .	„	10,78 % N,	„	10,69 %
Acetanilid . .	„	10,42 % N,	„	10,37 %

Ich habe dann später in einer systematischen Untersuchung die meisten der damals bekannten und für die Physiologie wichtigen stickstoffhaltigen Körper, soweit sie mir zugänglich waren, hinsichtlich der Anwendung der Kjeldahl'schen Methode untersucht und habe festgestellt, dass die Wilfarth'sche Modification der Kjeldahl-schen Methode ausnahmslos die richtigen Werthe für den Stickstoff ergibt. Die Körper waren theils von mir selbst rein dargestellt, theils anderweitig erhalten und, soweit es möglich, durch die Schmelzpunktsbestimmung auf ihre Reinheit geprüft. Ich lasse im Folgenden einen Auszug aus der Generaltabelle meiner Arbeit folgen, der diese Thatsache mit absoluter Sicherheit beweist. Die zuweilen gefundenen Unterschiede liegen, absolut genommen, im Bereich des Beobachtungsfehlers, machen aber, procentisch gerechnet, eventuell einen grösseren Unterschied aus.

Glykokoll . .	gefunden	18,53 % N,	berechnet	18,64 %
Alanin . . .	„	15,72 % N,	„	15,73 %
Leucin . . .	„	10,48 % N,	„	10,69 %
Sarkosin . . .	„	15,6 % N,	„	15,73 %
Taurin . . .	„	11,07 % N,	„	11,2 %

Tyrosin . . .	gefunden	7,75 % N,	berechnet	7,73 %
m-Amidobenzoësäure	„	10,12 % N,	„	10,22 %
Asparaginsäure .	„	10,48 % N,	„	10,53 %
Harnsäure . .	„	33,03 % N,	„	33,33 %
Allantoïn . .	„	35,26 % N,	„	35,44 %
Alloxantin . .	„	17,41 % N,	„	17,39 %
Kaffeïn . . .	„	28,9 % N,	„	28,87 %
Xanthin . . .	„	36,35 % N,	„	36,84 %

(In der untersuchten Menge gefunden 7,0 mg N, berechnet 7,1 mg N.)

Guanin . . .	gefunden	46,303 % N,	berechnet	46,36 %
Kreatinin . .	„	37,25 % N,	„	37,17 %
Kreatin (wasserfrei)	„	32,09 % N,	„	32,06 %.

Wie man deutlich sieht, ergibt die Untersuchung auch der Körper, bei welchen Kutscher und Steudel die grossen Verluste hatten, genau den theoretisch berechneten Werth. Körper wie Lysin, Histidin, Arginin u. s. w. standen mir damals nicht zur Verfügung. Da aber wenigstens bei Lysin und Arginin, deren Constitution bekannt, die Bindung des N in ähnlicher Weise stattfindet wie bei verschiedenen der oben untersuchten Körper, so ist wohl als sicher anzunehmen, dass auch bei diesen Körpern die Kjeldahl'sche Methode den richtigen Werth ergibt. Auch bei Histidin, dessen Constitution noch unbekannt ist, wird nach unserer Methode wohl der richtige Werth erhalten werden.

Ueber die Ursachen, wesshalb Kutscher und Steudel zu diesen schlechten Resultaten bezüglich der Kjeldahl'schen Methode gelangt sind, lassen sich natürlich nur Vermuthungen äussern. Ob zu geringe Kochdauer — wir haben mindestens eine Stunde oder noch länger erhitzt, weil bei den geringen Mengen der chemisch reinen Substanzen eine starke Bräunung der Flüssigkeit nicht eintritt und man desshalb die Entfärbung der Flüssigkeit nicht als Anhaltspunkt für das Ende der Oxydation ansehen kann — oder zu geringe Menge Schwefelsäure oder sonstige unbekannte Erscheinungen die Ursache ihrer schlechten Resultate gewesen sind, lässt sich ohne Nachprüfung, die ich aber bei einer solchen gleichmässigen Uebereinstimmung, wie Argutinsky's und meine Versuche ergeben, für unnöthig halte, nicht feststellen.

Dass die Kjeldahl'sche Methode in chemischen Laboratorien nicht in grossem Maassstabe angewandt wird, liegt nicht daran, weil

sie schlechte Resultate ergibt, sondern weil die Chemiker in vielen Fällen nicht wissen, in welcher Form der Stickstoff gebunden ist. Weil es nun feststeht, dass eine Reihe von Körpern, Nitro- und Cyanverbindungen und Nitrate erst nach besonderer Vorbereitung, Pyridin- und Chinolinderivate nur unvollständig ihren Stickstoff abgeben, so wendet der Chemiker eine Methode an, die ihm, wie die Dumas'sche, auf jeden Fall den gesammten Stickstoff ergibt.

Weitere Beiträge zur Nierenfunction und Wirkungsweise der Diuretica.

Ueber die Veränderung der Nierenepithelien unter dem Einfluss verschiedener Diuretica[1]).

Von

Professor Dr. **W. v. Sobierański,**
Director des pharmakologischen Institutes an der Universität Lemberg.

(Hierzu Tafel II.)

Bei meinen früheren Experimenten[2]) fiel mir das besondere Verhalten der Tubuli contorti in der Niere unter dem Einfluss der Diuretica auf. Ich bemerkte nämlich, dass nicht nur die Weite der Canälchen, sondern auch die Form der Epithelien wechselte. Ferner konnte ich auch constatiren, dass das Auftreten des Bürstenbesatzes auf dem sogenannten Stäbchenepithel eine Erscheinung ist, welche besonders prägnant nur bei manchen harntreibenden Mitteln zum Vorschein kommt.

Alle diese Veränderungen waren so typisch für gewisse Diuretica, dass man allein aus dem mikroskopischen Bilde schliessen konnte, ob das betreffende Thier z. B. unter Salz- oder Coffeïn-Wirkung gestanden hatte. Ehe ich jedoch zur Beschreibung meiner Resultate schreite, möchte ich in Kürze das erwähnen, was wir über den Bau

1) Die in dieser Arbeit dargestellten Resultate habe ich zum Theil schon in einem am 3. Juni 1896 im ärztlichen Verein zu Marburg gehaltenen Vortrage bekannt gemacht (vide Berliner klin. Wochenschr. 1896 Nr. 41). Später theilte ich weitere Ergebnisse in einem Vortrage am 11. Juni 1897 im medicinischen Verein zu Lemberg mit; schliesslich liess ich im Jahre 1898 die bis dahin gewonnenen Resultate unter dem Titel „Weitere Untersuchungen über die Function der Nieren“ (Dalsze badania nad czynnością nerek) in polnischer Sprache erscheinen (Przegląd Lekarski 1898 Nr. 10 u. 11); vide auch Maly, Jahresbericht für Thierchemie 1890 S. 305.

2) v. Sobierański, Ueber die Nierenfunction und die Wirkungsweise der Diuretica. Arch. f. exper. Pathologie u. Pharmakologie Bd. 35. 1895.

des Epithels der Tubuli contorti und über die Veränderung desselben bei der Nierensecretion bis jetzt wissen.

Man kann wohl von Henle[1]) anfangen, da er der Erste war, welcher constatirt hat, dass die Epithelien in den einzelnen Abtheilungen der Harncanälchen verschieden beschaffen sind. Nach diesem Autor sollen die Epithelien in den Tubuli contorti und in den weiten Schenkeln der schleifenförmigen Canäle dunkel und körnig aussehen und die einzelnen Zellen in den Rindencanälchen nicht von einander abgegrenzt sein. Dieser Darstellung schlossen sich Ludwig und Zawarykin[2]) an und fügten noch hinzu, dass in dem gewundenen Rindenschlauch die Kerne in regelmässigen Abständen in einen dem Aussehen nach gequollenen und zerklüfteten Stoff eingebettet sind, so dass kein deutliches Bild einer Zellmosaik zu Stande kommt. Ferner betonten diese Forscher die relative Dicke des Epithels und Enge des Lumens der secernirenden Harncanälchen.

Später erweiterte Schweigger-Seidel[3]) die Angaben Ludwig's dahin, dass sowohl die Dicke des Epithels als auch die Weite des Lumens der Tubuli contorti verschieden ist. Dann erschien die Arbeit von Heidenhain[4]). Dieser erklärte, dass das trübe und körnige Aussehen der Epithelien bedingt sei durch die Stäbchen, welche im Protoplasma der Zelle eingebettet seien, und nur der Kern der Zelle befinde sich im stäbchenfreien Protoplasma. Er bezeichnete desswegen auch das Epithel als Stäbchenepithel und nahm an, dass dieses zu der Secretion der Niere in Beziehung stehe. Nach Heidenhain bildet das Stäbchenepithel die Eigenthümlichkeit der Epithelzellen der Tubuli contorti bei Säugethieren.

W. Krause[5]) dagegen beschreibt, dass das Lumen der Rindencanälchen sternförmig sei, und dass die Epithelien der Tubuli contorti einen centralen, helleren Abschnitt, in welchem der Kern liegt,

---

1) Henle, Zur Anatomie der Niere. Göttingen 1862. — Henle, Eingeweidelehre. 2. Auflage 1875.

2) Ludwig und Zawarykin, Zur Anatomie der Niere. Sitzungsbericht der kais. Akad. d. Wissenschaften in Wien Bd. 48 Abth. 2.

3) Schweigger-Seidel, Die Nieren der Menschen und der Säugethiere in ihrem feineren Bau. Halle 1895.

4) Heidenhain, Mikroskopische Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Niere. Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 10 S. 1. 1874.

5) W. Krause, Handbuch der Anatomie des Menschen Bd. 1. 1873.

und einen basalen, dunkleren haben, in dem das Protoplasma in Stäbchen aufgefasert und zerfallen ist.

Mit der Vervollkommnung der mikroskopischen Technik hat man noch ein Structurelement entdeckt; es wurde nämlich beobachtet, dass viele Rindencanälchen mit einem Saum von kurzen Härchen bedeckt sind. Diesen Saum bezeichnete später Tornier[1]) als „Bürstenbesatz“.

Der eigentliche Entdecker dieses Bürstenbesatzes ist Cornil[2]), welcher im Jahre 1879 ihn in der menschlichen Niere fand. Die Beschreibung von Cornil ist in folgenden Worten gegeben: „Am freien Rande der Zelle, am Lumen der Tubuli contorti, trat öfters eine Art von Häutchen, ähnlich, wie man sie auf cylindrischem Epithel der Därme findet, auf. Dieser dunklere, homogen aussehende, glasige Theil besteht aus kleinen (Härchen) Stäbchen, welche parallel unter sich und perpendiculär zum Rande der Zelle geordnet sind.“

Schon vor Cornil hat man ähnliche Gebilde bei niederen Thieren längst gekannt. Leydig[3]) nämlich schrieb, dass über die Zellen der Malpighi'schen Gefässe des Maikäfers, der Phryganea grandis und der Raupe von Gastropacha lanestris „eine Art senkrecht gestrichelter, zarter Cuticula oder Intima“ hinweggeht, und bezog diese senkrechte Strichelung auf die Anwesenheit von Porencanälchen. Die Zeichnungen, welche Leydig seiner Darstellung beigab, erinnern lebhaft an die Befunde, welche man später bei Wirbelthieren constatirt hat.

Auch ein paar Monate vor Cornil sprach Nussbaum[4]), jedoch nur in einer kurzen Notiz, ebenfalls von einem „breiten Besatz kurzer Wimpern“, welchen er an den Zellen der gewundenen Harncanälchen bei niederen Wirbelthieren sah.

Die Beschreibung von Cornil war einige Zeit unbekannt, und

---

1) O. Tornier, Ueber den Bürstenbesatz an Drüsenepithelien. Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 27 S. 442. 1886.

2) Cornil, Nouvelles observations histologiques sur l'état des cellules du rein dans l'albuminurie. Journal de l'Anatomie et de la Physiologie par Robin et Pouchet t. 15. p. 402. 1879.

3) Leydig, Lehrbuch der Histologie der Menschen und Thiere S. 474 Fig. 228 *C*, 233 *A*, 234 *A*. Frankfurt 1857.

4) Nussbaum, Fortgesetzte Untersuchungen über die Secretion der Niere. Pflüger's Archiv Bd. 17. S. 587. 1878, auch: Ueber den Bau und die Thätigkeit der Drüsen. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 27 S. 442. 1886.

man hat irrthümlich diese Entdeckung Klein[1]), Tornier[2]), sowie auch einigen Pathologen zugeschrieben.

Klein hat nur die „Flimmerzellen“ in den gewundenen Canälchen der Maus gesehen und beschrieben.

In chronologischer Reihe ist jetzt Lebedeff[3]) zu nennen, welcher unter Marchand's Leitung bei einem Hunde, der durch chlorsaures Natron vergiftet war, eine „eigenthümliche Strichelung“ des inneren Saumes beschrieben hat. Marchand selbst hat bei in gleicher Weise behandelten Thieren gelegentlich seiner bekannten Versuche über Chlorsäure-Vergiftung ähnliche Befunde öfters gesehen. Er meinte, dass das Auftreten des Bürstenbesatzes mit der Hämoglobinausscheidung verbunden sei.

Dann folgte eine Publication von Langhans[4]), der ähnliche Bildungen bei der acuten Nephritis beschrieb, ohne sich jedoch auf eine Deutung derselben einzulassen.

Eine spätere Arbeit, in welcher der Bürstenbesatz eingehender besprochen wurde, ist die von Tornier[5]) (1886). Dieser Autor fasst den Bürstensaum als einen normalen Bestandtheil des Epithels der Tubuli contorti sowohl bei den Amphibien- als auch den Säugethier-Nieren auf und bringt denselben in Zusammenhang mit der Secretion. Frenzel[6]) hält ihn auch für normal und betrachtet ihn als „ein Schutzgebilde für empfindliche und sonst nackte Zellen“ (?). Dagegen hält Oertel[7]) (1887) das Auftreten des Bürstenbesatzes für eine rein pathologische Erscheinung, veranlasst durch Beschädigung der Zellen.

---

1) Klein, Histological notes. Quarterly Journal of mikroscopical Science vol. 21 p. 231. 1881.

2) Tornier, Ueber Bürstenbesätze an Drüsenepithelien. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 27 S. 181. 1886.

3) Lebedeff, Zur Kenntniss der feineren Veränderungen bei der Hämoglobinausscheidung. Virchow's Archiv Bd. 91 S. 267. 1883.

4) Langhans, Ueber die entzündlichen Veränderungen der Glomeruli und die acute Nephritis. Virchow's Arch. Bd. 99 S. 227. 1885.

5) O. Tornier, Ueber den Bürstenbesatz an Drüsenepithelien. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 27 S. 442. 1886.

6) Frenzel, Zum feineren Bau des Wimperapparates. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 28 S. 76. 1886.

7) Oertel, Ueber die Bildung von Bürstenbesätzen an den Epithelien diphtheritisch erkrankter Nieren. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 29 S. 525. 1887.

Dann erschien die Arbeit von W. Kruse[1]). Dieselbe stützt sich auf Befunde bei 150 menschlichen Nieren. Kruse stellte fest, dass der Bürstensaum nicht in allen Nieren sich vorfindet, und dass das Vorkommen desselben an eine bestimmte Dicke der Epithelien gebunden ist. Ferner behauptete Kruse, ohne jedoch genügende Belege zu liefern, dass die Dicke des Epithels der Tubuli contorti innerhalb weiter Grenzen schwankt, und dass „die oberste Schicht der Zelle physiologischer Weise die Fähigkeit besitzt, sich in einen Bürstenbesatz umzuwandeln", und glaubte, dass die Bürstenhärchen als Stäbchen vorgebildet zu sein scheinen, die mit den Heidenhain'schen Stäbchen in Continuität stehen.

Der Bürstenbesatz fand auch Berücksichtigung bei Werner[2]), welcher ihn bei seinen Experimenten mit gallensauren Salzen gesehen hatte.

Von neueren Arbeiten möchte ich die von Lorenz[3]) erwähnen, von Omer van der Strich[4]), von Rothstein[5]), von Disse[6]) und von Sauer[7]).

Lorenz kommt zum Theil zu ähnlichen Resultaten; er constatirt, dass der Bürstenbesatz zu den normalen Bestandtheilen der Niere gehört; jedoch bestreitet er im Gegensatz zu Tornier[8]) die Bedeutung desselben für die Secretion. Ebenfalls konnte er keine Beziehung des Bürstenbesatzes zu den Heidenhain'schen Stäbchen finden.

---

1) Walther Kruse, Ein Beitrag zur Histologie der gewundenen Harncanälchen. Virchow's Archiv Bd. 109 S. 193.

2) R. Werner, Einwirkung der Galle und gallensauren Salze auf die Niere. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmak. Bd. 24 S. 31. 1887.

3) H. Lorenz, Untersuchung über den Bürstenbesatz und dessen Bedeutung an normalen und pathologischen Nieren. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 15 S. 400. 1889.

4) Omer van der Strich, Contribution à l'étude du mécanisme de la sécrétion urinaire. Comptes rendus 1891. Séance du 27 avril.

5) Thor Rothstein, Zur Kenntniss des Nierenepithels. Biologiskar Föreningens Förhandlingar p. 53. Stockholm 1891.

6) J. Disse, Ueber die Veränderungen der Nierenepithelien bei der Secretion. Sonderabdruck aus den „Anatomischen Heften". Herausgegeben von Fr. Mertel und R. Bonnet. 1892.

7) H. Sauer, Neue Untersuchungen über das Nierenepithel und sein Verhalten bei der Harnabsonderung. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 46 S. 109. 1896.

8) Tornier, l. c.

Lorenz kann auch die Angabe von Tornier nicht bestätigen, dass die Bürstenhaare in einem und demselben Schnitte nicht gleichmässig entwickelt seien. Er meint, dass die Zellen der Tubuli contorti in verschiedener Dicke angetroffen werden, und dass der Bürstenbesatz an gewisse „normale“ (?) Höhe des Epithels gebunden zu sein scheint und bei Anschwellung des letzteren verschwindet. Dieser Autor lenkt auch die Aufmerksamkeit auf eine besonders deutliche Entwicklung der Bürstenhaare des Besatzes bei hypertrophischer Niere.

Omer van der Strich wurde hier desshalb genannt, weil er die Veränderungen am Epithel der gewundenen Canälchen bei der Secretion beschrieben hatte. Nach ihm entstehen in dem Basalttheil der Zelle zuerst helle Vacuolen, welche gegen die freie Oberfläche wandern und öfters zu grossen Blasen zusammenfliessen und bisweilen den Kern einschliessen. Das Secret der Zelle tritt nach diesem Autor in Form von Blasen durch den Bürstensaum hindurch, weil man diese hellen Blasen oft im Begriff findet, den Saum zu durchsetzen, wobei der Besatz ganz oder theilweise zu Grunde gehen kann.

Rothstein hat ebenfalls die Veränderungen am Epithel der gewundenen Rindencanälchen studirt; jedoch bringt seine Publication (eine vorläufige Mittheilung) nichts Wesentliches vor, mit Ausnahme der Beobachtung, dass die Heidenhain'schen Stäbchen nur scheinbare Stäbchen sind und vielmehr aus Reihen von Körnchen bestehen, welche unter einander durch Fäden verbunden sind, wesshalb sie Rothstein Kugelfäden nennt. Eine Auffassung, welcher — es sei hier beiläufig bemerkt — ich mich anschliesse.

Die Arbeit von Disse mag dagegen hier eingehender besprochen werden. Dieser Autor meint, dass das Epithel der Tubuli contorti äusserst leicht zerstörbar ist. Ferner unterscheidet er mehrere Arten unter den gerundenen Canälchen: Solche, welche ein weites cylindrisches Lumen haben und mit niedrigem, einen Bürstensaum tragendem Epithel bedeckt sind; andere mit engerem oder ganz engem Lumen, mit mehr oder weniger gut abgegrenzten Zellen, denen der Bürstenbesatz fehlt. Auch beschreibt er solche Canäle, die gar kein Lumen zeigen. Dabei bemerkt er, dass zwischen den genannten Extremen eine Reihe von Uebergangsformen vorkommen.

Disse nimmt ähnlich wie Kruse und Lorenz an, dass wir es hier nicht mit dauernd verschiedenen Arten von Epithelien zu

thun haben, sondern mit verschiedenen Zuständen einer und derselben Zellenform. Er glaubt nämlich, ohne jedoch dies zu beweisen, dass das verschiedene Aussehen der Epithelien der Tubuli contorti bedingt ist durch Zustände der graduellen Füllung dieser Gebilde mit Secret, welches nach dem Lumen zu entleert wird, und dass der Bürstensaum nur an leeren Zellen gut entwickelt ist. Die Entleerung des Secrets soll nach Disse durch Filtration erfolgen, wobei die secernirende Zelle nicht beschädigt wird. Die Stäbchenstructur soll nach ihm dem Protoplasma nur vorübergehend zukommen, und zwar dann, wenn die Zellen mit Secret ganz gefüllt sind; die Zellkerne sollen an der Secretion keinen Antheil nehmen. Disse beschreibt auch das Erscheinen der sogenannten Halbmonde, welche nach ihm nur selten angetroffen werden, und die nach meiner Meinung als Kunstproducte aufzufassen sind.

H. Sauer[1]), der unter Heidenhain's Leitung arbeitete, setzte, ebenso wie ich, die Niere in stärkere Thätigkeit mittelst Kochsalz oder Harnstoff, aber nicht mit Coffeïn, und untersuchte die Niere nur zur Zeit der grössten Diurese; aus diesen Gründen kam er zu einseitigen und vollkommen irrigen Schlüssen. Die Behauptung von Sauer, dass die Secretion der Niere keinen Einfluss auf die Protoplasmastructur der Tubuli contorti hat, sowie dass die Heidenhain'schen Stäbchen und Bürstenbesätze in allen Phasen der Secretion das gleiche Aussehen zeigen, ist durchaus unbegründet. Sauer musste ausschliesslich gleichartige Bilder finden; denn er hat nur ein Stadium der Thätigkeit der Epithelien gesehen, weil er die Niere durch Kochsalz, Harnstoff oder ähnlich wirkende Substanzen beeinflusst hatte. Aus diesem Grunde ist auch die Behauptung von Sauer hinfällig, dass er die so erhaltenen Resultate nur der besseren Fixirungsflüssigkeit (einer von Gehuchten empfohlenen Mischung von Alkohol 60,0, Chloroform 30,0 mit Eisessig 10,0) zu verdanken habe. Die Ansicht, dass alle anderen Fixirungsflüssigkeiten nur Kunstproducte lieferten, ist darum unhaltbar, weil man öfters an einem und demselben Schnitte, ab und zu in der Mitte des Präparats, gut ausgesprochene Bürstenbesätze findet neben vielen anderen Epithelien im Quellungszustande, also ohne den Saum. Immerhin muss man zugeben, dass die von Gehuchten empfohlene Mischung

1) H. Sauer, Neue Untersuchungen über das Nierenepithel und sein Verhalten bei der Harnabsonderung. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 46 S. 109. 1895.

bessere Resultate liefert als die bis dahin gewöhnlich benutzten Fixirungsflüssigkeiten. Auch die Sauer'sche Kritik der Arbeit von Disse ist zum Theil vollkommen unberechtigt. Ich beschränke mich, um meine Auseinandersetzung nicht zu weit auszudehnen, auf diese kurze Bemerkung, weil eine sachliche Kritik der Publication von Sauer sich aus meinen Versuchen von selbst ergibt.

In allerneuester Zeit sind noch Untersuchungen über die Niere von Lindemann[1]), von Gottlieb und Magnus[2]), von Gurwitsch[3]) und von Disse[4]) publicirt worden. Denselben werde ich eine besondere kritische Besprechung widmen, sobald mein angegriffener Gesundheitszustand dies erlauben wird.

Aus dieser historischen Beschreibung ergibt sich, dass bis jetzt fast alle Autoren unter dem Einflusse der Heidenhain-Bowman'schen Theorie standen und viele à tout prix ihre sämmtlichen Befunde im Sinne der herrschenden Anschauung deuteten, dass das verschiedene Aussehen der Zellen durch die Ausscheidungsthätigkeit derselben bedingt sei. Ferner ist daraus ersichtlich, dass die Ansichten über die Form der Zellen der Tubuli contorti und über das Vorkommen des Bürstensaumes sehr verschieden sind. Es wurde zwar sicher festgestellt, dass der Besatz einen normalen Bestandtheil der Niere bildet, die Ursachen und Momente seines Erscheinens und seines Schwindens blieben jedoch unaufgeklärt.

Ausserdem ist zu bemerken, dass man bis jetzt die Veränderungen des Epithels in den gewundenen Harncanälchen nur an der normal thätigen Niere beobachtet hat; ich habe dagegen dieses Organ mittelst verschiedener Mittel in erhöhte Thätigkeit versetzt, um die Veränderungen exquisiter zu machen. Ueber die Priorität dieser experimentellen Idee brauche ich nicht mit Sauer zu streiten, da das nebensächlich ist; jedoch dieses will ich bemerken, dass meine Arbeiten den früheren Datumstempel[5]) tragen.

---

1) W. Lindemann, Ueber die Ausscheidung der Nierenglomeruli. Zeitschrift f. Biol. Bd. 42 S. 161.

2) Gottlieb und Magnus, Ueber Diurese. Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmak. Bd. 45 S. 223. 1901.

3) Gurwitsch, Zur Physiologie und Morphologie der Nierenthätigkeit. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 91 S. 71. 1902.

4) Disse, Harn- und Geschlechtsorgane. Jena 1902. Aus dem Handbuche der Anatomie des Menschen Bd. 7 Th. 1. Herausg. von v. Bardeleben.

5) Diese experimentelle Idee habe ich zuerst in einem Vortrag beschrieben, welchen ich am 2. August 1893 im medicinischen Verein in Marburg hielt (vide

Bei meinen früheren Versuchen habe ich festgestellt, dass verschiedene harntreibende Mittel die Niere in verschiedener Weise beeinflussen. Desswegen habe ich mir zur Aufgabe gemacht, die Bedingungen zu erforschen, unter welchen diese Veränderungen der Zellen der tubuli contorti zu Stande kommen. Ehe ich jedoch zur näheren Beschreibung meiner Versuche schreite, muss ich vorausschicken, dass ich meine Beobachtungen beinahe ausschliesslich an Kaninchen gemacht habe. Diese Thiere eignen sich durch ihr leichtes Reagiren auf die Diuretica besonders zu diesen Experimenten.

Nachdem die meist tief chloralisirten Thiere an das Brett gebunden waren, habe ich den Schnitt in der linea alba gemacht und Canülen in die Ureteren eingeschoben. Die ausgeflossene Harnmenge wurde in Zeiträumen von je 10 Minuten gesammelt und gewogen; auf solche Weise bestimmte ich den diuretischen Effect. Das Diureticum habe ich meistens in die vena jugularis, seltener in den Magen mittelst Sonde injicirt.

Sobald die Secretion die gewünschte maximale Grösse erreicht hatte, habe ich das Thier getödtet, die Niere lebensfrisch in kleine Schnitte (nicht über 1 mm dick) zerlegt und in Erhärtungsflüssigkeit gebracht.

Oefters habe ich auch Versuche an nicht chloralisirten und nicht angebundenen Kaninchen gemacht; die dabei erhaltenen Resultate waren im Grossen und Ganzen dieselben wie an narkotisirten Thieren.

Zuerst stiess ich auf die Schwierigkeit, welche schon andere Autoren empfunden haben, nämlich auf den Mangel einer entsprechenden Fixirungsflüssigkeit. Zwar haben Tornier, Kruse, Lorenz und Andere verschiedene Fixirungsflüssigkeiten angegeben; dieselben gaben mir zwar brauchbare, jedoch nicht so gute Resultate, wie eine Mischung von gleichen Theilen einer 2 %igen Auflösung

Berliner klin. Wochenschr. Nr. 2 1894); die mit Hülfe derselben erhaltenen Resultate habe ich dann weiter in der am 23. August 1894 in Lemberg stattgefundenen Versammlung polnischer Aerzte mitgetheilt (Pamietnik VII. zjazdu lekarzy i przyrodników polskich. Lwów 1895), sowie in einer in polnischer Sprache abgefassten Abhandlung (Gazeta lekarska 1894) niedergelegt. Schliesslich wurde von mir Anfang 1895 im Archiv f. experim. Pathologie u. Pharmakologie über dasselbe Thema eine ausführliche Arbeit veröffentlicht, welche im Manuskripte der medicinischen Facultät der Universität in Marburg bereits im Jahre 1894 vorgelegt worden war, während die Arbeit von Sauer (l. c.) in der zweiten Hälfte des Jahres 1895 erschienen ist.

von Osmiumsäure und einer gesättigten, ebenfalls wässerigen Sublimatlösung mit Zusatz von ein paar Tropfen (2 bis 3 auf 10 ccm) Eisessig. Diese Fixirungsmischung kann ich bestens empfehlen, weil sie nicht nur schneller fixirt als Sublimat oder Osmiumsäure u. s. w., sondern auch den Bürstensaum deutlicher zum Vorschein bringt, hauptsächlich die feinere Streifung desselben. Einen Nachtheil hat diese Erhärtungsflüssigkeit aber darin, dass die Färbung der damit erhärteten Präparate trotz sorgfältiger Auswaschung nicht so leicht und schön zu Stande kommt wie z. B. bei Sublimat in physiologischer Kochsalzlösung. Meistens jedoch habe ich die ungefärbten Präparate benutzt, an welchen auch der Kern und die ganze Structur sehr deutlich zu erkennen waren. Auch die Altmann'sche Flüssigkeit habe ich bei meinen Untersuchungen angewandt, um die Veränderung der Granula bei der Nierensecretion zu studiren. Später habe ich jedoch dieses Thema meinem Assistenten Herrn Dr. G. Modrakowski überlassen, welcher seine Arbeit demnächst veröffentlichen wird. Die weitere Behandlung der Präparate, welche in der Erhärtungsflüssigkeit 10 bis 24 Stunden gelegen haben, war wie gewöhnlich — es folgte gute Auswaschung (4 bis 8 Stunden im fliessenden Wasser), dann Einlegen in Alkohol, in Xylol, sowie in Xylol und Paraffin und schliesslich Einbettung in Paraffin —. Die Mikrotom-Serienschnitte waren meistens 2 bis 5 μ dick, je nach Bedarf.

Ich habe schon erwähnt, dass ich meine Experimente beinahe ausschliesslich mit Diureticis gemacht habe, wesshalb ich die von mir seiner Zeit[1]) getroffene Eintheilung der eigentlichen harntreibenden Mittel hier in Erinnerung bringen muss. Die Diuretica, welche vorwiegend die Nieren beeinflussen, habe ich in drei Gruppen eingetheilt. Zu der ersten rechnete ich Coffeïn und ähnliche Körper, welche hauptsächlich die resorbirenden Eigenschaften der Tubuli contorti vermindern und dadurch die Diurese hervorrufen. Zur zweiten — alle Salze, welche vorwiegend das Filtrations- und osmotische Vermögen in den Glomerulis steigern. Schliesslich als dritte Gruppe habe ich diejenigen Mittel aufgefasst, welche in ihrer Wirkung zwischen den beiden eben erwähnten Gruppen stehen, also Harnstoff und mit ihm verwandte Körper.

1) vide l. c. — Archiv f. exper. Pathol. u. Pharmak. Bd. 25.

Salzdiurese.

Meine Versuche begann ich mit der zweiten Gruppe, nämlich mit den Salzen, da diese mir in Folge ihrer wasserentziehenden Eigenschaften das Meiste versprachen. Ich erwartete namentlich, dass die Quellungserscheinungen an den Tubulis contortis durch diese Mittel beseitigt werden würden. In der That wurde meine Erwartung nicht getäuscht. Ich bekam bei Anwendung von Salzen solche Nierenbilder, welche nicht mit anderen zu verwechseln waren. Vor allen Dingen sah man eine gewisse Gleichmässigkeit im Verhalten aller Harncanälchen; es waren sämmtliche gewundene Harncanälchen mehr oder weniger stark erweitert. Diese Gleichmässigkeit im Verhalten war so augenfällig, dass man eine ausgesprochene Salzdiurese im mikroskopischen Bilde auf den ersten Blick erkennen konnte. Am meisten charakteristisch war aber das Auftreten des Bürstenbesatzes in allen gewundenen Harncanälchen, welche niedrige Epithelien aufwiesen. Diese Erscheinung kam so typisch und schön zum Vorschein, dass ich keinen Augenblick zweifelte, dass sie in sehr engem Zusammenhang mit der Salzdiurese steht. Dieses Auftreten des Saumes ist meiner Meinung nach als Folge der wasserentziehenden Eigenschaften der Salze anzusehen. Bekanntlich bereiten diese Stoffe durch die eben erwähnten Eigenschaften zuvor im Blute und den anderen Geweben die Bedingungen zur Diurese vor, welche sich nachträglich in den Glomerulis äussert. Dann treten eben in Folge dieser Fähigkeit, Wasser zu entziehen, sobald der aus den Malpighi'schen Körperchen secernirte Harn einen gewissen Salzgehalt erreicht, die Quellungserscheinungen an den Epithelien der Tubuli contorti zurück, und es erscheint der Bürstensaum. Sobald aber der Salzgehalt des Blutes resp. des Harnes sinkt, nehmen die Quellungserscheinungen des Epithels wieder die Oberhand, und dann schwindet auch der Besatz. Näheres über den Zusammenhang dieser Erscheinung mit dem Gehalte des Salzes im Harn werde ich an einem anderen Orte ausführlicher besprechen.

Hier will ich noch erwähnen, was ich schon bei meinen früheren Experimenten gesehen habe, dass der Moment, in welchem der

Bürstenbesatz sich zeigt, zeitlich zusammenfällt mit der Erscheinung, wo die Tubuli contorti den Farbstoff (Indigo-Carmin) nicht aufnehmen, also sich nicht färben, d. h. wo die resorbirenden Eigenschaften der gewundenen Harncanälchen unter dem Einfluss des concentrirten Glomerulussecretes abgeschwächt oder vielleicht auch zeitlich vernichtet sind.

Die diuretische Wirkung der Salze kommt auch bei Hunden sehr prägnant zum Vorschein, und die Veränderungen, welche man bei diesen Thieren an den Epithelien der gewundenen Canälchen constatirt, sind vollkommen gleich den bei Kaninchen beschriebenen. Aus einer Reihe von über 40 Experimenten bringe ich als Beleg für die Salzdiurese folgende zwei Protokolle vor.

Versuch I. 18. Mai 1898.

Chlornatrium.

Männliches Kaninchen von 2400 g Körpergewicht.

Zeit	Harnmenge in g pro 10 Min.	Steigerung der Harnmenge die Norm = 1	Bemerkungen
10 h 00′	—	—	Das Thier bekommt 1 g Chloralhydrat in 10 ccm Wasser gelöst in den Magen mittelst Sonde.
10 h 30′	—	—	Einführen der Ureterencanülen.
10 h 30′ bis 10 h 40′	0,320	0,2685 = 1	
10 h 40′ bis 10 h 50′	0,219		
10 h 50′	—	—	25 ccm einer wässerigen Kochsalzlösung von 5 % in der Vena jugularis binnen 10 Minuten, also bis 11 h.
10 h 50′ bis 11 h 00′	7,440	1 : 27,742	
11 h 00′ bis 11 h 10′	9,990	1 : 33,4838	
11 h 10′ bis 11 h 20′	11,950	1 : 44,500	
11 h 20′	—	—	Das Thier wird getödtet. Die Niere sofort in kleine Stücke zerlegt und in Fixirungsflüssigkeit gebracht. Alle Harnproben reagiren alkalisch und sind eiweissfrei. Letzte drei Proben reduciren stark Fehling'sche Lösung.

Makroskopisches Aussehen: Bietet nichts Besonderes, die Niere sieht jedoch etwas blass aus.

Mikroskopisches Aussehen: Sämmtliche Lumine der Tubuli contorti sind stark erweitert, und alle Epithelien derselben sind niedrig und mit dem Bürstensaum bedeckt. Auch die Tubuli recti im Lichten weit.

Versuch II. 12. März 1897.

Salpetersaures Natron.

Männliches Kaninchen von 1800 g Körpergewicht.

Zeit	Harnmenge in g pro 10 Min.	Steigerung der Harnmenge die Norm = 1	Bemerkungen
3h 50′	—	—	Das Thier bekommt 1,2 g Chloralhydrat in 10 ccm Wasser gelöst in den Magen mittelst Sonde.
4h 55′	—	—	Einführen der Ureterencanülen.
4h 55′ bis 5h 06′	1,0270	0,916 = 1	
5h 06′ bis 5h 16′	0,815		
5h 16′	—	—	Beginn der Injection einer wässerigen salpetersauren Natronlösung von 5% in die Vena jugularis. 25 ccm binnen 5 Minuten, also bis 5h 21′.
5h 16′ bis 5h 26′	28,675	1 : 31,304	
5h 26′	—	—	Das Thier wird getödtet. Die Niere sofort entfernt, in kleine Stücke zerlegt und in Fixirungsflüssigkeit gebracht.

Makroskopisches Aussehen: Die Niere sieht blass aus.

Mikroskopisches Aussehen (vide Fig. I): Die Lumina der gewundenen Harncanälchen sehr weit, hauptsächlich in Folge Erniedrigung des Epithels. Sämmtliche Epithelien der gewundenen Harncanälchen mit sehr schön ausgeprägtem Bürstenbesatz bedeckt (Fig. I). Selten begegnet man im Lumen der Tubuli contorti feinen Netzen, welche hier in zwei Canälchen sichtbar sind.

Neben den eben beschriebenen Veränderungen begegnet man ab und zu bei Salzdiurese einer Art von feinem Netzwerk in den Tubuli contorti, wie auf Fig. I abgebildet ist, ähnlich dem, welches schon früher einige Autoren beschrieben haben. Dieses Netzwerk geht von der Oberfläche des Epithels der Tubuli contorti aus und verbreitet sich in's Lumen. Woher jedoch stammen diese Netze? Ob von den Tubuli contorti oder aus dem Blute, aus dem Glomerulus, oder wiederum aus Spalträumen zwischen dem Epithel, kann ich nicht entscheiden. Ebenfalls ist mir nicht klar, was weiter mit diesen Netzen geschieht. Es bedarf weiterer Forschung, ob sie einer Resorption oder Auflösung und Aufsaugung unterliegen.

Man kann jedoch sicher behaupten, dass diese Befunde nicht im geringsten dafür sprechen, dass Harnstoff und ähnliche „harnfähige" Substanzen durch die Tubuli contorti zur Ausscheidung gelangen, wie es die Heidenhain'sche Theorie verlangt.

Bei meinen Versuchen mit Salzen — ich spreche immer von Natrium chloratum, Natrium sulfuricum und Natrium nitricum — nahm mit der Zunahme der Harnausscheidung auch die Harnstoffmenge zu; die Harnstoffmenge wächst jedoch nicht proportional dei Flüssigkeitsmenge.

Zur weiteren Beleuchtung der Salzwirkung möchte ich erwähnen, dass ich bei einem Thiere, an welchem ich in ein paar Stunden die Salzdiurese zwei Mal hervorrief und schwinden liess, als ich dasselbe auf dem Höhestadium der Salzdiurese getödtet hatte, die Canäle erweitert und den Bürstenbesatz ebenso typisch entwickelt fand wie bei den übrigen Thieren, welche ich nach einmaliger Salzeinspritzung untersucht habe. Auch dieses beweist unter Anderem, dass der Bürstenbesatz an den Epithelien nicht leicht zerstörbar ist, wie das Disse meint.

Zum Schluss meiner Experimente über Salzwirkung habe ich ein paar Versuche angestellt, um die Verhältnisse in der Niere zu studiren, nachdem die Einwirkung der Salze bereits abgeklungen und die Diurese sehr gering war. Bei diesen Experimenten fand ich das Epithel schon im Quellungsstadium; in Folge dessen war das Lumen der Härncanälchen viel kleiner. Die Epithelien der gewundenen Harncanälchen waren viel höher, und nur einige davon trugen einen nicht deutlich entwickelten Bürstenbesatz. Hier konnte man augenfällig sehen, wie der Bürstensaum an den im Quellenzustand begriffenen Zellen allmählich kleiner wird und schliesslich gänzlich verschwindet. Ich bemerke dabei nachdrücklich, dass die Niere sich noch im Secretionszustand befand, wenn schon sie nur in geringem Grade secernirte, und dass die Versuchsbedingungen, namentlich die Fixirungsflüssigkeit, dieselben waren wie bei früheren Experimenten, wo der Bürstenbesatz sehr schön zum Vorschein kam. Als Beispiel folgt ein Protokoll (siehe S. 149).

Somit spielen in der Niere bei der Salzdiurese vorwiegend zwei Momente mit. Das erste bedingt die vergrösserte Filtration und Osmose der „harnfähigen“ Substanzen in den Glomerulis. Das zweite Moment ist die Einwirkung der concentrirten Salzlösungen auf die Harncanälchen. Es entsteht ein osmotischer Kampf zwischen den resorbirenden Eigenschaften der Epithelien der Tubuli contorti und den wasserentziehenden Eigenschaften der Salze. Sobald die Concentration der ausgeschiedenen Salzlösung so

Versuch III. 22. Mai 1898.

Chlornatrium.

Männliches Kaninchen von 1600 g Körpergewicht. (Ohne Narkose.)

Zeit	Harnmenge in g pro 10 Min.	Steigerung der Harnmenge die Norm = 1	Bemerkungen
10h 45′	—	—	Das Thier an das Brett befestigt.
11h 35′	—	—	Einführen der Ureterencanülen.
11h 35′ bis 11h 45′	0,457	0,391 = 1	Reaction neutral. Fehling'sche Lösung wird nicht reducirt.
11h 45′ bis 11h 55′	0,325		
11h 55′	—	—	Beginn der Injection. 26 ccm einer wässerigen Kochsalzlösung von 5% in der Vena jugularis binnen 10 Minuten, also bis 12h 5′.
11h 55′ bis 12h 05′	16,400	1 : 41,943	Alkalisch, reducirt Fehling'sche Lösung.
12h 05′ bis 12h 15′	19,125	1 : 48,900	Alkalisch, sehr starke Reduction der Fehling'schen Lösung.
12h 15′ bis 11h 25′	16,105	1 : 41,189	Der Harn reagirt bis zum Schluss alkalisch. Die ersten Portionen reduciren noch stark Fehling'sche Lösung, die späteren reduciren viel langsamer, erst nach längerem Kochen.
12h 25′ bis 12h 35′	18,287	1 : 46,751	
12h 35′ bis 12h 45′	16,0156	1 : 40,946	
12h 45′ bis 12h 55′	3,280	1 : 8,391	
12h 55′ bis 1h 05′	1,915	1 : 4,897	
1h 05′ bis 1h 15′	0,895	1 : 2,289	
1h 15′ bis 1h 25′	0,636	1 : 1,626	
1h 25′ bis 1h 35′	0,614	1 : 1,570	
1h 35′	—	—	Das Thier wird getödtet. Die Niere sofort in kleine Stücke zerlegt und in Fixirungsflüssigkeit gebracht.

Makroskopisches Aussehen: Die Niere sieht auffallend blass aus.

Mikroskopisches Aussehen: Die Epithelien der gewundenen Harncanälchen zeigen verschiedene Quellungsstadien, das Lumen bei vielen wenig sichtbar, bei anderen beinahe vollkommen geschlossen, nur selten trifft man die Tubuli contorti etwas erweitert und mit schwach entwickeltem Bürstenbesatz ausgekleidet.

gross ist, dass Flüssigkeit den Tubuli contorti entzogen wird, dann erscheint das Epithel niedrig und mit dem Bürstenbesatze bewaffnet, und in Folge dessen wird das Lumen der Canäle erweitert.

Coffeïndiurese.

Bei den Versuchen mit Coffeïn bin ich ähnlich vorgegangen wie bei den Experimenten mit Salzen, d. h. ich habe das Thier zur Zeit

der möglichst grossen Diurese getödtet und die Niere wie oben angegeben behandelt.

Die mikroskopischen Befunde, welche ich hier angetroffen habe, liessen schon aus theoretischen Gründen im Vergleiche mit denen, welche ich mit Salzen erhielt, grosse Unterschiede erwarten. Die Salze nämlich rufen die oben beschriebenen Veränderungen in Folge ihrer wasserentziehenden Eigenschaften hervor. Bei Coffeïn dagegen kann, wie ich schon in meiner früheren Arbeit erwiesen habe, davon keine Rede sein. Hier handelt es sich um specielle Einwirkung auf die Tubuli contorti, welche die resorbirende Kraft derselben schwächt resp. zeitlich vernichtet. Die Coffeïndiurese kommt nur dann zu Stande, wenn es dem Organismus nicht an Wasser und Salzen mangelt. Mit diesem Diureticum erhaltene Bilder werden selbstverständlich nicht nur vom Coffeïn, sondern auch von der Menge der Salze, welche augenblicklich der Organismus zur Disposition hat, abhängig sein. Aus demselben Grunde, d. h. weil die Epithelien nicht nur unter Coffeïn-, sondern auch unter Salzwirkung stehen, kann bei der Coffeïndiurese keine Rede von solcher Gleichmässigkeit in dem Verhalten der Tubuli contorti sein, welche wir bei der Salzdiurese gesehen haben. In der That findet man hier gleich wie bei normalen Nieren verschieden aussehende Epithelien der Tubuli contorti; so waren einige Epithelien im Quellungszustande begriffen ohne Bürstenbesatz und mit nicht deutlich sichtbaren Grenzen, während andere einen mehr oder weniger entwickelten Bürstensaum trugen, andere wiederum zeigten die Zwischenstufen zwischen den eben beschriebenen Formen. Nur eine Abweichung konnte ich constatiren, wenn die Diurese stark zum Vorschein kam, nämlich e t w a s e r w e i t e r t e L u m i n a d e r H a r n c a n ä l c h e n, was auch zum Theil aus mechanischen Gründen begreiflich ist (vide Fig. II).

Wir sehen also, dass diese Bilder an die normalen Befunde bei der Niere lebhaft erinnern; auch das Auftreten des Bürstenbesatzes wechselte öfters; manchmal fand ich ihn ziemlich verbreitert. Dann ergab eine nachträgliche Untersuchung des Harnes einen starken Salzgehalt. Wie soll man diese Bilder deuten? Durch meine früheren Versuche mit Indigo habe ich bewiesen, dass das Coffeïn die Aufnahme des Farbstoffes in die Tubuli contorti, d. h. die Färbung des Epithels der gewundenen Harncanälchen hindert; daraus habe ich geschlossen, dass das Coffeïn die Diurese zu Stande bringt dadurch, dass es die resorbirende Thätigkeit der Harncanälchen ver-

ringert resp. lähmt. Maassgebend für den Coffeïneffect ist also nicht nur diese Substanz selbst, sondern auch die im Organismus disponiblen „harnfähigen" Substanzen. Die bei Coffeïn erhaltenen Tubuli-Bilder scheinen auch dafür zu sprechen, dass wir hier keine besonders ausgesprochene Formveränderung der Epithelien finden, sondern einen status quo ante, also eine Stabilität der Form, wenn ich mich so ausdrücken darf.

Wenn wir dagegen die früher herrschende Theorie von Bowman, Heidenhain und die Erklärung von v. Schroeder annähmen, dass die Coffeïndiurese durch Reizung resp. gesteigerte Secretion der Epithelien der Tubuli contorti entsteht, so sollten wir hier irgend welche Anhaltspunkte finden, die wenigstens zum Theil diese Annahme unterstützten. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Das Coffeïn also verändert meiner Meinung nach kaum die Form der Epithelien der Tubuli contorti, d. h. es unterhält beinahe denselben Zustand, in welchem sich die Epithelien der gewundenen Canälchen vorher befanden. Es versetzt aber diese Theile der Niere in einen eigenthümlichen Zustand, in welchem sie ihre resorbirende Thätigkeit mindern resp. zeitlich aufheben[1]).

Die Epithelien, welche unter Coffeïneinwirkung stehen, können jedoch auf Salze reagiren, indem das Coffeïn wahrscheinlich bald ausgewaschen wird. Wenn wir also einem Thiere, welches Coffeïndiurese zeigt, eine Kochsalz- oder Natrium-Nitricum-Injection machen, so erscheinen wiederum alle Epithelien mit dem Bürstenbesatz bedeckt. Nachdem die Salzwirkung abgeklungen ist, bleibt auch die Coffeïndiurese aus, weil das Coffeïn wahrscheinlich aus dem Epithel ausgewaschen worden ist. Ein in diesem Zustand getödtetes Thier zeigt in der Niere dieselben Quellungserscheinungen des Epithels der Tubuli contorti wie gewisse normale Thiere.

---

1) Im vorigen Jahre haben Gottlieb und Magnus eine Arbeit „Ueber die Beziehung der Nierenthätigkeit zur Diurese" (Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmak. Bd. 45 S. 223) publicirt, in welcher die Coffeïn- und Salzwirkung auf die Niere untersucht wird. Die dort angeführten Versuche sprechen so deutlich für meine Auffassung der Wirkung der Diuretica, dass es zu verwundern ist, warum diese Autoren darauf nicht eingehen und eine gezwungene Erklärung ihrer Versuche in v. Schroeder's Theorie der Coffeïnwirkung suchen.

Von einer grossen Anzahl von Experimenten mögen die folgenden Protokolle als Illustration dienen.

Versuch IV. 24. April 1896.

Coffeïnum natro-benzoicum.

Weibliches Kaninchen von 2100 g Körpergewicht.

Zeit	Harnmenge in 10 Min. in g ausgedrückt	Steigerung der Harnmenge, die Norm = 1	Reaction des Harns	Bemerkungen
2h 50′	—	—	—	Das Thier bekommt 1,5 g Chloralhydrat in 15 ccm Wasser gelöst in den Magen mittelst Sonde.
3h 38′	—	—	—	Einführen der Ureterencanülen.
3h 40′ bis 3h 50′	0,57	0,6525 = 1	alkalisch, eiweissfrei	
3h 50′ bis 4h 00′	0,735			
4h 00′	—	—	—	Beginn der Injection einer wässerigen Coffeïn natr. benzoicum-Lösung von 5% in die Vena jugularis. 5 ccm oder 0,25 Coff. natr.-benzoicum binnen 8 Min.
4h 00′ bis 4h 10′	25 740	1 : 39,463	alkalisch eiweissfrei	
4h 10′	—	—	—	Das Thier wird getödtet.

Makroskopisches Aussehen: Die Niere bietet nichts Besonderes, vielleicht fühlt sie sich etwas härter an.

Mikroskopisches Aussehen (vide Fig. II): Die Lumina der gewundenen Harncanälchen stark erweitert, die Epithelien besitzen öfters unregelmässiges Aussehen, selten begegnet man einem Bürstenbesatz, und bei Weitem nicht so gut ausgesprochen wie bei der Salzdiurese. Die Zwischenräume zwischen den Harncanälen erweitert.

(Versuch V siehe S. 153.)

Bei der Coffeïndiurese fand man sehr selten in den gewundenen Harncanälchen auch die Netze, welche ich bei der Salzdiurese beschrieben habe. Ausserdem konnte man hier noch eine andere Erscheinung constatiren. Oefters sah man bei Altmann'scher Fixirung im oberen Dritttheil der Epithelien der Tubuli contorti nach dem Lumen zu eine deutlich hervortretende Art von Vacuolen. Die Lagerung dieser Bildungen war über der Kerngrenze und unterhalb der Bürstenbesatzzone. Ich betone, dass diese Erscheinung, welche bei der Harnstoffdiurese ebenfalls schön zum Vorschein kam, nur dann deutlich auftrat, wenn die Niere in Altmann'scher Flüssigkeit

Versuch V. 20. Juni 1896.

Coffeïn natro-benzoicum.

Männliches Kaninchen von 2640 g Körpergewicht.

Zeit	Harnmenge in 10 Min. in g ausgedrückt	Steigerung der Harnmenge, die Norm = 1	Reaction des Harns	Bemerkungen
2h 15'	—	—	—	Das Thier bekommt 1,2 g Chloralhydrat in 10 ccm Wasser gelöst in den Magen mittelst Sonde.
3h 10'	—	—	—	Einführen der Ureterencanüle.
3h 10' bis 3h 20'	1,260	1,260 = 1	—	
3h 20'	—	—	alkalisch, blutig	Beginn der Injection einer wässerigen Coffeïn natro-benzoicum-Lösung von 5 % in die Vena jugularis binnen 5 Min. 3 ccm.
3h 20' bis 3h 30'	9,590	1 : 7,611	—	
3h 30' bis 3h 40'	16,2054	1 : 12,861	—	
3h 40' bis 3h 50'	7,094	1 : 5,630	—	
3h 50'	—	—	—	Das Thier getödtet.

Makroskopisches Aussehen: Die Niere sieht etwas blasser als normal aus und fühlt sich härter an.

Mikroskopisches Aussehen: Die gewundenen Harncanälchen nicht so stark erweitert wie im Versuch IV, einige davon besitzen ganz enges Lumen. Die Epithelzellen der Tubuli contorti sind höher als bei dem vorigen Versuch, und einige zeigen ganz deutlich Quellungszustand, welcher selbstverständlich nicht so hochgradig ist wie bei den später folgenden Experimenten mit physiologischer Kochsalzlösung, aber deutlich genug, um constatirt zu werden.

fixirt worden war. Die Vacuolen sieht man nicht bei der Salzdiurese. Näheres darüber wird Herr Dr. Modrakowski in einer demnächst erscheinenden Arbeit berichten.

Solchen Vacuolen begegnet man auch in anderen Geweben der Thiere, z. B. im Blute des Frosches unter Einwirkung verschiedener Gifte wie Ammoniumchlorid oder Lupetidinen[1]), und es ist sehr gewagt, diesen Bildungen bei der Niere eine secretorische Rolle zusprechen zu wollen, wie das viele Autoren thun (Trambusti,

1) Gürber, Untersuchungen über die physiologischen Wirkungen der Lupetidine und verwandter Körper und deren Beziehungen zu ihrer chemischen Constitution. Arch. f. Anat. u. Physiol., physiol. Abth., 1890 S. 401.

Gurwitsch u. A.). Selbst die Bezeichnung „Vacuole“ ist nicht passend, weil die Bildungen nicht leer sind, sondern gefüllt mit Substanzen, welche sich anders gegen manche Farbstoffe resp. Reagentien verhalten wie das übrige Protoplasma der Zelle.

Harnstoffdiurese.

Die Experimente mit diesem Diureticum waren in jeder Beziehung den früheren gleich ausgeführt. Der Harnstoff nimmt, wie ich schon in meiner früheren Arbeit dargelegt habe, in seiner Wirkung auf die Niere eine Mittelstellung zwischen den erwähnten Gruppen ein.

Injicirt man also einem Thiere viel Harnstoff und in circa 5—8%iger Lösung in die Vena jugularis, so steigt die Diurese ziemlich plötzlich in die Höhe, und sobald sie sich auf das 6—10fache vergrössert hat, findet man alle Harncanälchen erweitert und die Epithelzellen der Tubuli contorti mit Bürstenbesätzen bedeckt. Die so erhaltenen Bilder erinnern sehr lebhaft an die, welche wir bei der Salzdiurese beschrieben haben.

Wenn man dagegen Thieren kleinere Mengen von Harnstoff und in nicht so concentrirten Lösungen (1%) injicirt, so tritt die Diurese nicht so ausgiebig auf, etwa bis zum 2fachen der ursprünglichen Grösse. Dann erscheinen die Tubuli contorti nur wenig erweitert und ihre Epithelzellen nicht oder selten mit dem Bürstensaum bedeckt, welcher viel schwächer entwickelt ist. Dabei zeigen sich bei Altmann'scher Fixirung ähnliche Vacuolen im Epithel und in derselben Lagerung, wie wir das bei der Coffeïndiurese beschrieben haben.

Als Beispiel führe ich aus einer Reihe von Experimenten das auf S. 155 angeführte Protokoll an.

Aus dem eben Gesagten in Verbindung mit den früher festgestellten Thatsachen ergibt sich, dass der Harnstoff die zweckmässigsten Eigenschaften eines Diureticums besitzt, er verringert die resorbirende Thätigkeit der Tubuli contorti, übt aber auch in grösseren Mengen deutlich sichtbare Salzwirkung aus. Jedoch sind diese beiden Wirkungen des Harnstoffs im Vergleich einerseits zum Coffeïn, andererseits zu den Salzen verhältnissmässig nicht so ausgiebig.

Die Harnstoffdiurese bringt noch manche andere Eigenthümlichkeiten zum Vorschein, welche jedoch einer weiteren Forschung be-

Versuch VI. 22. September 1902.

Harnstoff.

Männliches Kaninchen von 2170 g Körpergewicht.

Zeit	Harnmenge in 10 Min. in g ausgedrückt	Steigerung der Harnmenge, die Norm = 1	Bemerkungen
12h 00′	—	—	Das Thier bekommt 0,75 g Chloralhydrat in 40 ccm Wasser gelöst in den Magen.
1h 45′	—	—	Das Thier an das Brett befestigt.
2h 00′	—	—	Die Ureterencanülen eingeführt.
2h 05′ bis 2h 15′	0,850	0,850 = 1	
2h 15′	—	—	Beginn der Injection von 5% wässeriger Lösung von Harnstoff in die Vena jugularis. Im Ganzen 63 ccm oder 3,15 g in 50 Min. also bis 3h 05′.
2h 15′ bis 2h 25′	1,077	1 : 1,267	
2h 25′ bis 2h 35′	1,409	1 : 1,657	
2h 35′ bis 2h 45′	2,221	1 : 2,6141	
2h 45′ bis 2h 55′	3,030	1 : 3,564	
2h 55′ bis 3h 05′	4,230	1 : 4,976	
3h 05′ bis 3h 15′	5,750	1 : 6,764	
3h 15′	—	—	Das Thier wird getödtet und die rechte Niere in kleine Stücke zerlegt und in Fixirungsflüssigkeit gebracht.

Makroskopisches Aussehen: Bietet die Niere nichts Besonderes.

Mikroskopisches Aussehen (vide Fig III): Die Tubuli contorti sind stark erweitert und ihre Epithelien mit dem Bürstensaum bedeckt. Man findet aber auch in dem Präparate ein paar weniger weite, gewundene Canälchen, deren Epithelien etwas gequollen und desswegen ohne Bürstenbesatz sind. Hier sieht man auch, wie die Bürsten kleiner werden und allmählich verschwinden; dieses ist am besten oberhalb der Kerne zu sehen.

dürfen; eine solche stellt z. B. das differente Verhalten verschiedener Thiergattungen (Hund und Kaninchen) diesem Diureticum gegenüber dar.

Wirkung der physiologischen Kochsalzlösung auf die Niere.

Um mich besser zu vergewissern, dass ein Theil der Veränderungen in den gewundenen Harncanälchen nur als Quellungserscheinungen zu deuten ist, und um dem logischen Gange meiner Gedanken nicht aus dem Wege zu weichen, habe ich noch Versuche mit physiologischer Kochsalzlösung gemacht.

Ich habe den Kaninchen grosse Mengen physiologischer Kochsalzlösung (2—4fache des Blutes) in die Vena jugularis injicirt in Erwartung, dass in Folge osmotischer Erniedrigung des Blutes resp. des Harnes die Quellung in der Niere sehr ausgesprochen zum Vorschein kommen würde. Meine Erwartung wurde nicht getäuscht. Es ergaben sich thatsächlich Bilder, wie Fig. IV darstellt, wo man alle Epithelien der Tubuli contorti in so hochgradiger Quellung und so an einander gedrängt findet, dass das Lumen nur als ein unregelmässig aussehender Strich resp. Spalt zum Vorschein kommt. Der nach dem Lichten gelegene Theil des Epithels ist so stark angeschwollen, dass er beinahe als durchsichtige Masse erscheint, und in dieser Protoplasmamasse liegen die Kerne weit von einander. Der untere, basale Theil der Zelle erscheint immer dunkler, körnig, und die kleinen Granula findet man zerstreut fast ausschliesslich in den dunkleren Partien des Epithels. Selten constatirt man eine Andeutung der Stäbchenstructur in dem Epithel der gewundenen Harncanälchen.

Ich hebe besonders hervor, dass die Fixirungsflüssigkeit und andere Versuchsbedingungen dieselben waren wie bei meinen Experimenten mit der concentrirten Kochsalzlösung und mit Coffeïn. Als Beleg für die Wirkung der physiologischen Kochsalzlösung führe ich ein Protokoll vor (siehe Versuch VII S. 157).

Aus diesen Experimenten kann man beinahe mit mathematischer Sicherheit schliessen, dass die physiologische Kochsalzlösung, in grosser Menge in die Blutbahn gebracht, so hochgradige Quellungserscheinungen hervorruft, dass die Lumina dadurch geschlossen werden, und die Kerne in einer gequollenen Protoplasmamasse unregelmässig eingebettet erscheinen.

Der Salzgehalt der letzten Portionen des Urins näherte sich in Bezug auf das Natriumchlorid der physiologischen Kochsalzlösung. Ich will bei dieser Gelegenheit hervorheben, dass die Quellungserscheinungen erst dann sichtbar abnehmen, wenn der Salzgehalt des Urins ungefähr das Doppelte des Gehaltes der physiologischen Kochsalzlösung erreicht. Bei bestimmter Concentration des Harnes konnte man das allmähliche Auftreten des Bürstensaumes constatiren. Zuerst bemerkt man kleine Härchen an noch ziemlich hohem Epithel und, sobald die Concentration noch grösser geworden war, fand man den Besatz mit stark ausgesprochenen Bürsten. In Bezug auf das Erscheinen des Bürstensaumes verhalten sich Kaninchen anders als Hunde. So zeigen Kaninchen schon bei niedrigem Salzgehalt den

Versuch VII. 19. September 1902.

Physiologische Kochsalzlösung 0,6 %.

Männliches Kaninchen von 2900 g Körpergewicht.

Zeit	Harnmenge in g pro 10 Min.	Steigerung der Harnmenge, die Norm = 1	Bemerkungen
10h 45′	—	—	1,25 g Chloralhydrat in 35 ccm Wasser gelöst in den Magen mittelst Sonde eingegossen.
12h 30′	—	—	Einführen der Canülen in die Ureteren.
12h 32′ bis 12h 42′	0,955	0,3925 = 1	
12h 42′ bis 12h 52′			
12h 52′ bis 1h 02′	0,330		
1h 02′ bis 1h 12′	0,285		
1h 12′	—	—	Beginn der Injection von vorgewärmter (38° C.) 0,6 % wässeriger Lösung von Kochsalz in die Vena jugularis. Im Ganzen 455 ccm oder 2,73 g in 2 Stunden und 30 Minuten, also bis 3h 42′.
1h 12′ bis 1h 22′	0,200	1: 0,509	
1h 22′ bis 1h 32′	0,190	1: 0,484	
1h 32′ bis 1h 42′	0,270	1: 0,687	
1h 42′ bis 1h 52′	0,230	1: 0,586	
1h 52′ bis 2h 02′	1,050	1: 1,337	
2h 02′ bis 2h 12′		1: 1,337	
2h 12′ bis 2h 22′	1,170	1: 2,979	
2h 22′ bis 2h 32′	0,885	1: 2,254	
2h 32′ bis 2h 42′	1,782	1: 2,270	
2h 42′ bis 2h 52′		1: 2,270	
2h 52′ bis 3h 02′	3,964	1: 5,049	
3h 02′ bis 3h 12′		1: 5,049	
3h 12′ bis 3h 22′	8,220	1: 10,470	
3h 22′ bis 3h 32′		1: 10,470	
3h 32′ bis 3h 42′	3,628	1: 9,247	
3h 42′	—	—	Das Thier getödtet. Die Niere in kleine Schnitte zerlegt und in die Fixirungsflüssigkeit gebracht.

Makroskopisches Aussehen: Die Niere vergrössert und blass.

Mikroskopisches Aussehen (vide Fig. 4): Die Epithelien sämmtlicher gewundenen Harncanälchen zeigen den Zustand einer hochgradigen Quellung. Desswegen sind sie so an einander gedrängt, dass das Lumen der Tubuli contorti nur wie ein unregelmässig angedeuteter Strich sichtbar ist. Die Kerne liegen unregelmässig in gequollenem Protoplasma, dessen unterer basaler Theil durch die zerstreuten Granula etwas getrübt ist, der obere Theil dagegen glasig durchsichtig erscheint. An manchen Epithelien sind die Stäbchen sehr schwach angedeutet.

Besatz ausgezeichnet, Hunde dagegen brauchen viel grössere Concentration des Harnes, um dieselbe Erscheinung zu zeigen.

Ich behalte mir vor, Näheres darüber später zu publiciren.

Allgemeine Betrachtungen.

Wenn wir alles eben Gesagte uns vergegenwärtigen, so sehen wir darin keine Unterstützung für die Bowman-Heidenhain'sche Theorie. Wir finden sowohl bei Salz- als auch bei Coffeïn-Diuresen, dass mit der Flüssigkeitsmenge auch das Quantum des Harnstoffs zunimmt, obwohl die Epithelien sich vollkommen verschieden verhalten. Kurz gesagt, wir können die oben beschriebenen Veränderungen des Tubuli contorti in der normalen Niere nicht anders deuten als Quellenerscheinungen, welche durch Salze beseitigt werden können.

Ich benutze hier überall das Wort „Quellung“, obwohl ich zugeben muss, dass dieser Ausdruck nicht vollkommen passend ist, da es sich hier nicht um einen passiven Vorgang handelt, sondern um eine Art von Resorption. Ein besserer Ausdruck wäre vielleicht „Füllung“, jedoch diesen Begriff habe ich mit Absicht vermieden, um einem Missverständniss, als ob es sich um Secretionsvorgänge im Sinne von Bowman-Heidenhain handelte, vorzubeugen. Aus dem oben Gesagten ergibt sich, dass es nicht statthaft ist, die Befunde in den Epithelien der Tubuli contorti mit anderen Drüsen gleichzustellen, wie z. B. Disse u. A. es thun, welche die gewundenen Harncanälchen als secretorische Theile der Niere betrachten im gleichen Sinne wie bei den Speicheldrüsen.

Die Niere besitzt einen so differenten Bau im Vergleich mit anderen Drüsen, dass man die Befunde nicht parallelisiren kann. Schliesslich spricht auch das mechanische Moment dagegen, nämlich der Befund solcher Bürsten, welche eine Art von Capillaren bilden, die eine Aufsaugung begünstigen. Vielleicht aus diesem Grunde finden wir solche Besätze an den Organen, denen vorzugsweise eine resorbirende Thätigkeit eigen ist, so z. B. im Darm. Auch vergleichend anatomische Momente, welche ich in meiner früheren Arbeit vorgebracht habe, sprechen gegen die Bowman-Heidenhain'sche Theorie, obwohl unter verschiedenen Species so colossale Differenzen in der Function der Niere bestehen, dass wir nicht ohne Weiteres die bei einer Thierart erhaltenen Resultate auf andere übertragen können. Ich will hier nur an das verschiedene Verhalten von Hund

und Kaninchen dem Coffeïn gegenüber erinnern. Wenn ich meine experimentell gewonnenen Resultate zur Deutung der bis jetzt von Anderen gemachten Befunde benutze, so ist es erklärlich, wesshalb man das Epithel der Tubuli contorti von so verschiedenem Aussehen gefunden hat. Das alles waren die Stadien eines und desselben Quellungsprocesses, und desshalb ist es auch begreiflich, wesshalb der Besatz verhältnissmässig so selten constatirt war. Man untersuchte die Nieren gewöhnlich ziemlich spät nach dem Tode, wo die Quellungserscheinungen schon ausgebildet waren. Auch benutzte man zum Theil nicht passende Fixirungsflüssigkeiten. Ferner glaube ich, durch meine Versuche erklären zu können, wesshalb Marchand bei seinen mit Chlorsäuresalzen vergifteten Thieren den Bürstenbesatz deutlicher und öfters constatirt hat, weil es sich hier, wie bei Werner, welcher mit gallensauren Salzen, oder bei Sauer, der mit Kochsalz und Harnstoff experimentirte, um die Salzwirkung handelte.

Es lässt sich ebenfalls erklären, wesshalb Lorenz bei einer menschlichen, hypertrophischen Niere, wo die andere vollkommen atrophisch war, den Bürstenbesatz so deutlich ausgebildet fand; eine solche Niere wird ja unter doppelter Salzwirkung stehen. Ich habe selbst bei zwei jungen Kaninchen, welche ich neun Wochen nach Entfernung einer Niere getödtet habe, einen deutlicher als gewöhnlich ausgesprochenen Bürstensaum gefunden. Bei solchen Kaninchenversuchen muss man jedoch auf die Fütterung Rücksicht nehmen, welche ziemlich salzhaltig sein soll, wie das bei Dickwurzelfütterung mit Kochsalzzusatz der Fall ist. Bei dieser Fütterung wird eine viel grössere Menge salzreichen Harns secernirt als z. B. bei Heufütterung, und desswegen kommt auch der Bürstenbesatz schöner zum Vorschein.

Ich habe in dieser Arbeit mich beinahe ausschliesslich auf die Veränderungen der Tubuli contorti beschränkt, weil diese die labilsten Theile der Niere sind. Andere Epithelien der Harncanälchen zeigen weniger ausgesprochene Veränderungen.

Man kann die Quellungserscheinungen auch unter dem Mikroskope direct studiren. Entnimmt man der lebensfrischen Niere durch feinen Schnitt oder Abschabung einige Epithelien aus den gewundenen Harncanälchen, und beobachtet man dieselben unter dem Mikroskop in physiologischer Kochsalzlösung, so finden sich in geeigneten Präparaten die Zellen im Quellungszustand; sobald man aber etwas mehr Wasser zusetzt, nimmt die Quellung bedeutend zu. Diese

Eigenschaft des Epithels der Tubuli contorti war schon Heidenhain[1]) bekannt. Ich gebe wörtlich seine Beschreibung: „Erwähnenswerth scheint mir die ausserordentliche Quellbarkeit des Epithels. Bei Zutritt von Wasser verliert dasselbe, wie an den Schnitten schon mit blossem Auge zu bemerken ist, seine Transparenz, offenbar durch Ausfällung eines Albuminates. Dabei schwillt die Epithelschicht schnell auf, in das Lumen des Canälchens treten aus derselben helle, runde, scharfbegrenzte Tropfen, welche aus den Rissenden in Menge ausfliessen, — sehr ähnlich, wie man sie in der Regel in den Nieren älterer Leichen findet.“ Machen wir jedoch einen Schritt weiter, und setzen den Zellen statt Wasser concentrirtere Salzlösung (2- bis 4 %ige Kochsalzlösung) zu, so sehen wir öfters bei gelungenen Präparaten das Lumen sich öffnen und den Saum deutlich zum Vorschein kommen, dessen Bürstenhaare aber nicht zu erkennen sind. Natürlich sind die so erhaltenen Bilder nicht so schön wie bei einem Salz-Experiment, aber sie bekräftigen unsere Ueberzeugung, dass diese Erscheinung nur mit der Quellung zusammenhängt.

Es bleibt mir noch ein auffälliger Punkt zu besprechen, der mir lange Zeit Kopfzerbrechen machte, nämlich: wesshalb wir bei einer und derselben normal thätigen Niere so verschiedene Stadien des Epithels treffen. Wir finden einige Tubuli contorti im Quellungszustand, andere dagegen mit dem Bürstenbesatz bewaffnet. Meiner Meinung nach lässt sich das leicht erklären durch den Bau der Niere. Wenn wir nämlich anatomische Verhältnisse berücksichtigen, so finden wir, dass nicht alle Glomeruli unter gleichmässig starkem Druck stehen, da einige direct an dicken Arterienstämmen sitzen, die anderen mittelst langer Zwischengefässe mit dem Hauptstamm verbunden sind, wie man das so schön an Corrosionspräparaten sehen kann. Ferner trägt auch das Moment dazu bei, dass nicht alle Glomeruli gleich gebaut sind, wie uns das die Untersuchung von Drasch[2]) gezeigt hat. Dieser Autor fand zweierlei typisch von einander verschiedene Glomeruli, deren Verschiedenheit auf die epitheliale Umhüllung des Knäuels, auf die Grösse der Knäuel, auf

1) Heidenhain, Mikroskopische Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Niere. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 10 S. 7.

2) O. Drasch, Ueber das Vorkommen zweierlei verschiedener Gefässknäuel in der Niere. Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. in Wien Bd. 76 Abth. 3 Juliheft. Jahrgang 1877.

die Anordnung der Gefässe in denselben, auf die Structur der Wandung dieser Gefässe und auf ihre topographische Anordnung in der Niere zurückzuführen ist.

Dass die Niere bei gewisser Stärke der Diurese nicht gleichmässig functionirt, davon kann man sich auch experimentell überzeugen. Injicirt man Kaninchen oder Hunden in die Vena jugularis einige Kubikcentimeter einer gesättigten Indigolösung, und tödtet man das Thier rasch nach der Injection, so findet man die Epithelien der Tubuli contorti nicht gleichmässig gefärbt. Man findet manche Epithelien stark gefärbt, hauptsächlich die Kerne derselben, viele dagegen schwächer oder gar ungefärbt. Erst nach einigen Minuten bei stärkerer Indigoausscheidung tritt die Ausgleichung dieser Differenzen ein. Diese merkwürdige Erscheinung kann man aus den eben besprochenen anatomischen Momenten leicht erklären.

Zum Schluss möchte ich noch ein paar Worte über den osmotischen Austausch in den Tubuli contorti beifügen. Ich glaube auf Grund meiner Experimente schliessen zu können, dass in denselben osmotische Processe zwischen dem Glomerulussecret einerseits und gewissen Inhaltsstoffen des Protoplasmas des Epithels andererseits stattfinden, da solche Veränderungen (Quellungen und Zusammenziehungen) in den Tubuli contorti ohne Osmose nicht denkbar sind.

Ferner muss auch — vom teleologischem Standpunkte betrachtet — die ganze Anordnung des Canalsystems in der Niere mit dem Uebergange von weiteren zu engen Röhren den osmotischen Austausch begünstigen, indem auf diese Weise das Glomerulussecret längere Zeit in den gewundenen Canälchen bleibt, deren Zellen den Bürstenbesatz tragen. Solche Zellen sind für osmotische Functionen sehr geeignet; desswegen findet man sie in Organen, welche vorwiegend die Resorption besorgen (Darm).

Dieser osmotische Austausch jedoch hat nichts gemeinsam mit „molekularem Austausch“ von v. Koranyi[1]), von dem in der letzten Zeit viel die Rede war. Diese Hypothese kann keine wissenschaftliche Kritik aushalten, wie ich das in einer polnisch publicirten Arbeit[2]) ausgeführt habe.

---

1) v. Koranyi, Physiologische und klinische Untersuchungen über den osmotischen Druck thierischer Flüssigkeiten. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 33 H. 2 S. 1 u. 2.

2) Sobierański, Krytyczne uwagi nad czynnością nerek. Gazeta lekarska Bd. 22. 1902.

Die Annahme eines osmotischen Austausches in den gewundenen Harncanälchen unterstützt auch nicht die Theorie von Bowman-Heidenhain, dass der Harnstoff und die anderen eigentlichen Harnsalze durch die Tubuli contorti zur Ausscheidung gelangen. Wir müssen vielmehr umgekehrt auf Grund meiner gegenwärtigen und früheren Experimente behaupten, dass sämmtliche im Blute gelöste „harnfähige" Substanzen den Weg durch den Glomerulus nehmen.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. I. Querschnitt durch die Niere eines Kaninchens bei Natriumnitricum-Diurese. Der Schnitt zeigt die Lumina der gewundenen Harncanälchen ausserordentlich weit, die Epithelzellen mit stark entwickeltem Bürstenbesatz bedeckt. In einem Canälchen sieht man feine Netze.

Fig. II. Querschnitt durch die Niere eines Kaninchens, bei dem durch Coffeïnum natro-benzoicum die Diurese hervorgerufen war. Dieser Schnitt zeigt die Lumina der Tubuli contorti mässig erweitert, die freie Oberfläche des Epithels unregelmässig gestaltet, und nur stellenweise sieht man den undeutlich entwickelten Bürstenbesatz.

Fig. III. Querschnitt durch eine Kaninchenniere bei Harnstoffdiurese.

Die gewundenen Canälchen stark erweitert, die Epithelien meist mit dem Bürstensaum bedeckt, der aber nicht so schön entwickelt ist wie bei der Salzdiurese; an manchen Stellen, meistens über den Kernen, sieht man das Epithel in Quellung begriffen und in Folge dessen den Bürstensaum verschwinden.

Fig. IV[1]. Querschnitt durch die Niere eines Kaninchens, welchem ungefähr das Doppelte seiner Blutmenge einer physiologischen Kochsalzlösung 0,65% in die Vena jugularis injicirt war.

Die Epithelien sämmtlicher Harncanälchen zeigen hochgradigen Quellungszustand; daher die Lumina auf kaum sichtbare Spalten reducirt. Die Kerne nach der Mitte hin vorgerückt und unregelmässig verteilt in der gequollenen Protoplasmamasse.

Fig. I, II und III stellen Präparate vor, welche mit Bismarckbraun differenzirt waren. Fig. IV ist gezeichnet nach einem ungefärbten Präparat.

Die Fixirungsflüssigkeit war bei allen Präparaten die gleiche und bestand aus einer Mischung, die ich im Text angegeben habe.

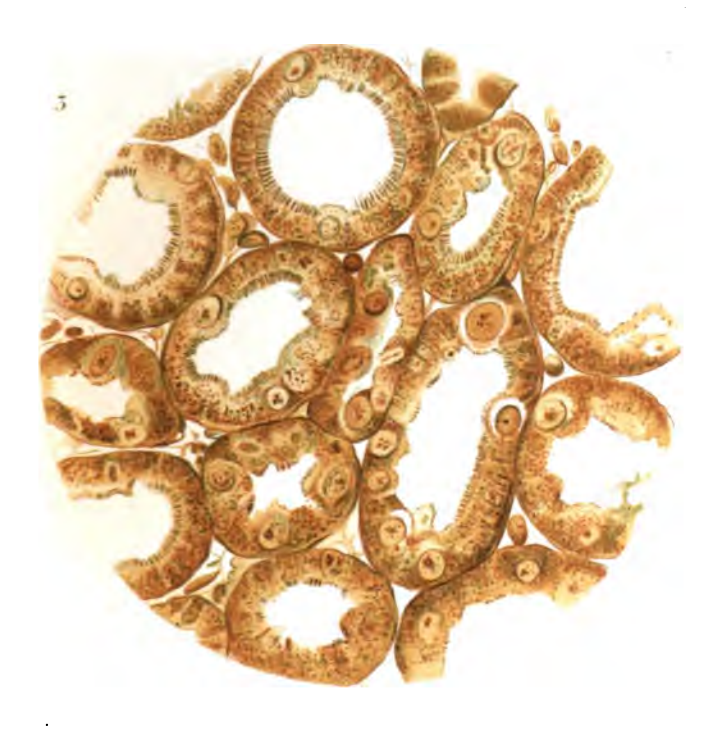
Vergrösserung sämmtlicher Präparate dieselbe: Leitz'sches Mikroskop. Objectiv 1/12 Oel-Immersion. Ocular 3.

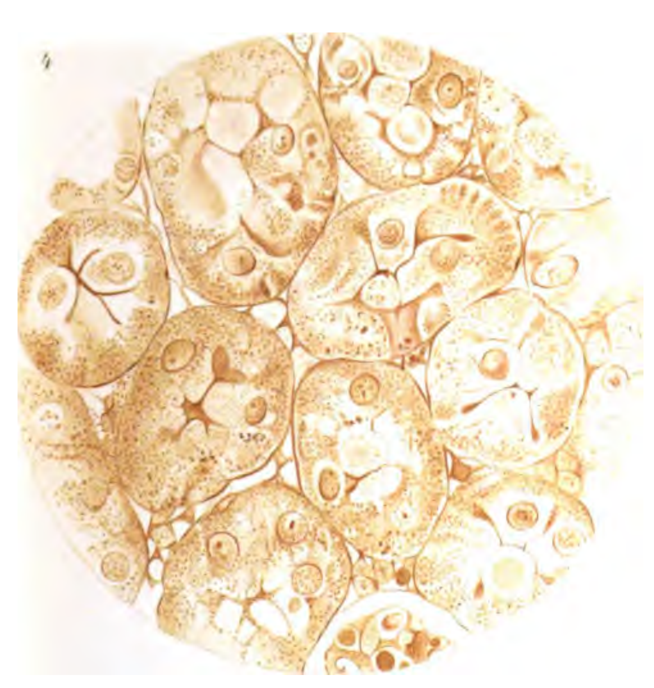
1) Figur IV konnte nicht mit dem charakteristischen, fast farblosen Tone der Originalzeichnung reproduciert werden, da das zu erhebliche Kosten verursacht hätte. Der Abdruck musste sich demgemäss auf eine möglichst genaue Wiedergabe der Strukturverhältnisse beschränken.





Verlag von Emil Strauss, Bonn.





Lith. Anst. v. Werner & Winter, Frankfurt a/M.

(Aus dem Laboratorium des Prof. Dr. S. v. Basch in Wien.)

Untersuchungen über die Beziehungen des Abdominaldrucks zur Respiration.

Von

Dr. **Ferdinand Winkler.**

(Mit 21 Textfiguren und Tafel III.)

In meinen „Beiträgen zur experimentellen Pathologie“ [1]) habe ich über Aenderungen berichtet, welche der intraabdominale Druck unter verschiedenen Bedingungen erfährt, und gezeigt, dass er sowohl durch Einflüsse, welche im Sinne einer äusseren Belastung wirken, als auch durch Vermehrung des Inhalts der Bauchhöhle wachse; der Verlust des Tonus der Bauchmuskulatur, welcher einer Verminderung des Aussendrucks gleichkommt, führt zu einem starken Absinken des Abdominaldrucks; auch die Blutleere der Baucheingeweide kann, weil sie eine Verminderung des Bauchinhalts bedeutet, eine der Bedingungen abgeben, welche den Bauchdruck herabsetzen; eine zweite in diesem Sinne wirkende Bedingung liegt in der durch die Contraction der Därme bewirkten Compression der Darmgase, also ebenfalls in der Verminderung des Bauchinhalts. Umgekehrt tritt bei Vermehrung der Blutfülle in den Eingeweiden des Bauchs ein Ansteigen des Abdominaldrucks ein.

In den vorliegenden Untersuchungen handelte es sich nun darum, die Beziehungen zwischen der spontanen Athmung und dem Abdominaldruck zu studiren. Weiterhin kam der Einfluss der Chloroformnarkose, insofern sie die Athmung beeinflusst, auf den Abdominaldruck in Betracht, und endlich sollte auch

1) Ueber die Aenderungen des intraabdominalen Drucks. Beiträge zur experimentellen Pathologie S. 31. Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien 1902.

geprüft werden, ob nicht auch die Morphiumnarkose den Abdominaldruck zu ändern im Stande ist.

Bei diesen Versuchen konnte ich auch erwarten, genaueren Aufschluss über die Höhe des normalen Abdominaldrucks zu erhalten; in meiner früheren Arbeit hatte es sich in der Hauptsache um Druckänderungen gehandelt.

Die Versuchstechnik war die gleiche wie in meinen früheren Versuchen. Ein mit vier breiten Schlitzen versehener Troicart wurde quer durch die Bauchhöhle durchgestochen, der Troicart herausgezogen und das Lumen des Rohrs mittelst eines Schlauchs in Verbindung mit einem empfindlichen Wassermanometer gebracht.

Dabei erwies es sich als zweckmässig, zum Einstich die obere Partie des Bauchraums zu wählen, da sich in den unteren Partien leicht Fettklümpchen in die Schlitze des Troicarts einstülpen und die Communication der Bauchhöhle mit dem Manometer stören.

Ueber die ungestörte Communication zwischen Bauchhöhle und Manometer gab der Versuch Aufschluss, dass ein Druck auf die Bauchmuskulatur bei richtiger Versuchsanordnung den Abdominaldruck steigen und der Nachlass des Drucks ihn sofort sinken macht. Beim Sinken muss der Abdominaldruck vollständig auf sein ursprüngliches Niveau zurückkehren; war dies nicht der Fall, sank also der Schwimmer nicht auf das Ausgangsniveau, so zeigte dies, dass die Communication zwischen Bauchhöhle und Manometer eine Störung erfahren hat.

Das Einstülpen von Fettklümpchen in die Troicartschlitze lässt sich, wie ich schon in meiner ersten Arbeit angegeben habe, manchmal dadurch vermeiden, dass man während des Einstechens kleine Mengen Flüssigkeit in das System und damit in die Bauchhöhle eintreten lässt. Selbstverständlich aber darf dieser Kunstgriff nicht in jenen Versuchen verwendet werden, in denen es sich um die Bestimmung der Höhe des wirklichen Abdominaldrucks handelt.

Zur Messung des Drucks kam ein gewöhnliches, zweischenkliges Wassermanometer zur Verwendung. Bei meinen früheren Versuchen hatte ich ein einschenkliges Wassermanometer benutzt, dessen Ausschläge durch einen langen Schreibhebelarm vergrössert wurden; bei meinen jetzigen Versuchen erhielt ich, da der Schwimmer nur den halben Druck registrirt, kleinere Ausschläge, dafür aber gewährt die Benutzung des zweischenkligen Manometers den Vortheil, dass der Aus-

gangspunkt bei gleicher Lage des Thieres unverrückt bleibt, und dass die Bestimmung der Nulllinie keinen Schwierigkeiten begegnet.

Bei meinen Hunden fand ich nun sehr ungleiche Verhältnisse des Abdominaldrucks; im Durchschnitte betrug er 10 bis 12 mm Wasser, in einem Falle sogar 24 mm Wasser. Dagegen fand ich in einem anderen Falle einen negativen Druck, der 4 mm unter der Abscisse lag. Diese Angaben beziehen sich selbstredend auf Thiere, die ohne jede Narkose beobachtet wurden.

Die Section ergab, dass in den Fällen, in denen der Abdominaldruck höher war, der Magen mehr gefüllt erschien als in jenen Fällen, in denen der Abdominaldruck geringer war. Der — wenn auch seltene — Befund eines negativen Abdominaldrucks kann, soweit ich sehe, nur darauf zurückzuführen sein, dass sich einerseits der Magen und die Därme in leerem Zustande befinden, und dass andererseits eine besondere Erschlaffung der Bauchdecken vorhanden sei. Dabei ist an die Möglichkeit zu denken, dass neben der Erschlaffung der Bauchdecken auch eine Erschlaffung des Zwerchfells mitspielen kann.

Beim Kaninchen, das immer grössere Nahrungsmengen im Magen hat, ist der wirkliche Abdominaldruck noch grösser als beim Hund; ich bestimmte ihn bei einem 4 kg schweren Kaninchen mit 58 mm Wasser.

Hieraus ergibt sich, dass es wohl schwer sein dürfte, einen constanten Werth für den wirklichen Abdominaldruck anzugeben. Offenbar schwankt er in recht weiten physiologischen Grenzen, die von dem jeweiligen Füllungszustand des Magens und des Darmes abhängen.

Kelling[1]) schätzt die physiologischen Volumschwankungen der Bauchhöhle, wie sie die Nahrungsaufnahme einerseits und der Abgang von Fäces, Flatus und Urin andererseits bedingen, auf mehr als 200 %. Er konnte sich auch direct von den Aenderungen überzeugen, welche das Volumen der Bauchhöhle und der Abdominaldruck durch Nahrungszufuhr erfahren. Nach seinen Versuchen ist der Druck in der nüchternen Bauchhöhle des Hundes gleich dem atmosphärischen Druck.

Ueber die Grösse der Aenderungen, denen der Abdominaldruck bei Füllung des Magens unterliegt, gibt ein Versuch

1) Untersuchungen über die Spannungszustände der Bauchwand, der Magen- und Darmwand. Zeitschr. f. Biol. Bd. 44 S. 171.

Aufschluss, der durch die folgende Figur (Fig. 1) illustrirt wird. Durch den Oesophagus wurde in den Magen ein Rohr eingeführt, das in einer Kautschukblase endigte; wenn die Blase mit Luft gefüllt wurde, kam es zunächst zu einer langsamen Steigerung des Abdominaldrucks und dann zu einem raschen Absinken.

Wenn man die Luft aus der Kautschukblase entweichen liess und die Blase zusammenfiel, stieg der Abdominaldruck wieder an.

An und für sich erscheint dieses Resultat paradox, namentlich wenn man es mit meinen in der früheren Untersuchung mitgetheilten Versuchsergebnissen vergleicht; ich habe dort gezeigt, dass beim Füllen des Rectums mit Wasser der Abdominaldruck ansteigt[1]), und man sollte dementsprechend erwarten, dass auch beim Anfüllen des Magens ein Steigen des Abdominaldrucks, aber nicht ein Sinken erfolge.

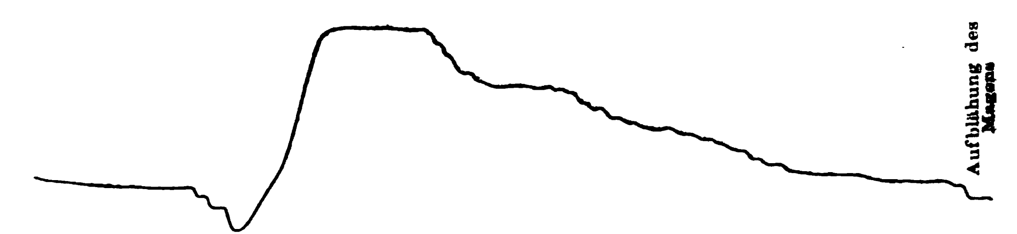


Fig. 1. Aenderung des Abdominaldrucks bei Aufblähung des Magens mit Luft.

Da die Aufblasung des Magens am spontan athmenden Thiere und der Vergleichsversuch mit der Anfüllung des Rectums am curarisirten Thiere vorgenommen wurde, so muss man wohl den Unterschied in den Verhältnissen und Bedingungen suchen, welche mit der spontanen Athmung des Thieres in Zusammenhang stehen. Aus der Fig. 1 ist ersichtlich, dass im Anfange mit der Aufblasung der Druck ansteigt; dieses Ansteigen ist ohne Weiteres verständlich und beruht gleichwie die Erscheinung am curarisirten Thiere auf einer Verringerung des Rauminhaltes der Bauchhöhle. Anders ist es aber mit dem Absinken des Abdominaldrucks. Soweit ich sehe, reichen wir für das Verständniss dieses Absinkens nur mit der Vorstellung aus, dass die Magenauftreibung als solche auf reflectorischem Wege zu einer verstärkten Exspiration, beziehentlich zu einer Erschlaffung des Zwerchfells führt. Durch diese Er-

1) Beiträge zur experimentellen Pathologie. Urban u. Schwarzenberg, Berlin und Wien 1902 S. 35 Fig. 14.

schlaffung wird der Bauchraum in weit höherem Grade vergrössert, als er durch die Magenanfüllung verkleinert wird.

Unter dieser Vorstellung, die ich selbstverständlich nur als Hypothese hinstellen will, wäre das Auftreten der beobachteten Erscheinungen verständlich. Es wäre auch möglich, dass entsprechend der von S. Mayer und Přibram[1]) festgestellten Thatsache, dass bei Magenaufblähung der Blutdruck steigt, mit dieser Blutdrucksteigerung einer Blutleere der Baucheingeweide eintritt und an der Senkung des Abdominaldrucks Antheil nimmt; bei dem exspiratorischen Vorgange, den ich hier supponire dürfte freilich die Bauchpresse nicht betheiligt sein, weil ja diese allein im Stande ist, den Abdominaldruck in die Höhe zu treiben.

Welche Aenderungen erfährt nun der Abdominaldruck durch die Narkotisirung mit Morphin?

Spritzt man einem mittelgrossen Hunde Morphin intravenös ein (1 g einer 3 %igen Lösung), so sieht man mit dem Abfallen des Blutdrucks ein jähes, fast senkrechtes Aufsteigen des Abdominaldrucks (Fig. 2). Der Bauchdruck bleibt aber nicht auf seiner Höhe, sondern sinkt unter grossen Schwankungen wieder ab. Zweifellos hängt das Ansteigen mit der bekanntlich im Beginne der Morphiumwirkung auftretenden Unruhe des Thieres und den dabei vor sich gehenden Contractionen der Bauchdecken (Erbrechen, Urinentleerung und Defäcation) zusammen.

Wenn das initiale Aufregungsstadium gewichen ist, zeigt sich, dass der Abdominaldruck am morphinisirten Thiere unter das Ausgangsniveau gesunken ist. Vielleicht hängt dieses Sinken mit der Entleerung der Baucheingeweide zusammen.

Von viel wesentlicherem Einflusse ist die Chloroformnarkose. Lässt man das Thier aus einer Trachealfistel Billroth-sche Chloroform-Aethermischung athmen, so sinkt der Abdominaldruck rasch und bedeutend ab, um sich bei Aufhören der Chloroformzufuhr, also bei Luftathmung, wieder zu erheben, ohne das Ausgangsniveau erreichen zu können (Fig. 3 auf Taf. III).

Wie sehr die Chloroformnarkose die Verhältnisse des Abdominaldrucks ändert, zeigt am besten das Ergebniss der Ischiadicus-

1) Ueber reflectorische Beziehungen des Magens zu den Innervationen der Kreislaufsorgane. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. Bd. 46 Abth. 3 S. 106. 1872.

reizung. In meiner früher citirten Arbeit über die Aenderungen des intraabdominalen Druckes habe ich angeführt, dass bei der cen-



Fig. 2. Abdominaldruck und Carotisdruck bei intravenöser Einspritzung von Morphin. * Einspritzungsmarke.

tralen Reizung des Ischiadicus eine Herabsetzung des Drucks stattfinde; in der dort beigefügten Zeichnung[1]) sieht man sehr schön,

1) l. c. S. 52 Fig. 28.

wie bei der Ischiadicusreizung nach einer geringen Steigerung der Abdominaldruck absinkt. Diese Angabe bezieht sich aber auf curarisirte Thiere. Bei dem nicht narkotisirten Thiere ruft umgekehrt die Ischiadicusreizung ein ganz bedeutendes Ansteigen

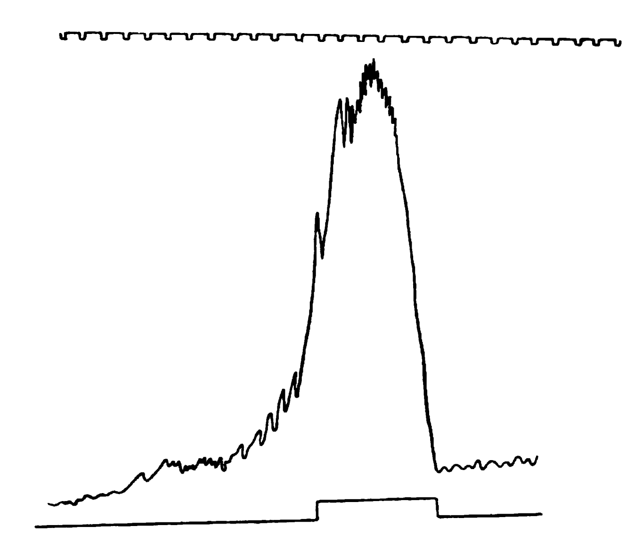


Fig. 4 *a*. Abdominaldruck des nicht narkotisirten Thieres bei Ischiadicusreizung.

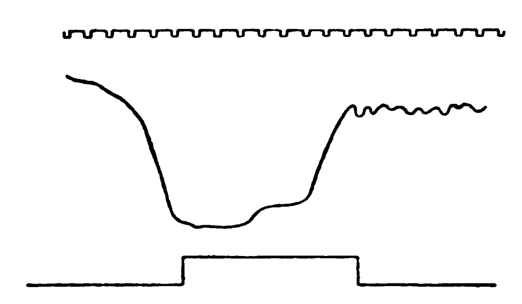


Fig. 4 *b*. Abdominaldruck des tief chloroformirten Thieres bei Ischiadicusreizung.

des Abdominaldrucks, wohl als Folge der bei der Ischiadicusreizung auftretenden Contraction der Bauchmuskulatur, hervor. Bei dem tief chloroformirten Thiere macht sich gerade das Umgekehrte, ein tiefes Absinken des Abdominaldrucks, geltend. Dieses Sinken kann nur darauf beruhen, dass die Ischiadicusreizung einen exspiratorischen Stillstand des Zwerchfells her-

vorruft, und in der That hat Reiner[1]) unter Stricker's Leitung feststellen können, dass bei tiefer Chloralhydratnarkose durch Ischiadicusreizung eine exspiratorische Athmungspause zu erzielen sei.

Fig. 4*a* und Fig. 4*b* illustriren die Wirkung der Ischiadicusreizung auf den Abdominaldruck bei dem nicht narkotisirten und bei dem tief chloroformirten Thiere.

Das Abfallen des Abdominaldrucks als Folge der Chloroformnarkose hängt wohl mit der Erschlaffung der Bauchdecken zusammen; es beginnt beinahe gleichzeitig mit dem Abfallen des Carotisdrucks, setzt sich aber noch in die Periode des Ansteigens des Blutdrucks fort. Manchmal bleibt der Bauchdruck auch nach dem Aussetzen der Narkose, also während der Luftathmung, auf seinem tiefen Stande.

Diese Verhältnisse zeigen sich deutlich, wenn man vor der Chloroformirung den Abdominaldruck durch Einfliessen von Wasser in die Bauchhöhle steigert. Unter diesen Umständen ist die Communication zwischen Bauchhöhle und Manometer immer frei und ungestört, und es tritt das Absinken des Abdominaldrucks als Folge der Erschlaffung der Bauchdecken sehr deutlich hervor. Auch beim strychnisirten Thiere tritt bei der Chloroformnarkose ein bedeutender Druckabfall auf, doch entwickelt er sich um Vieles später als beim normalen Thiere.

Zwei zahlenmässige Beispiele mögen den Einfluss der Chloroformnarkose auf den Abdominaldruck illustriren.

Tabelle I.

	Abdominal-druck	Proc.	Aenderung
Luftathmung	168 mm	100 %	
			— 63 %
Chloroformathmung .	62 mm	37 %	
			+ 53 %
Luftathmung	95 mm	57 %	
			-- 95 %
Chloroformathmung .	8 mm	8 %	
			+ 93 %
Luftathmung	93 mm	55 %	
			+ 83 %
Morphineinspritzung.	176 mm	105 %	
			— 66 %
	61 mm	37 %	
			— 71 %
Chloroformathmung .	18 mm	10 %	

---

1) Experimente zur Lehre von der Apnoë. Wiener klinische Wochenschrift 1894 S. 195.

Tabelle II.

	Abdominal-druck	Proc.	Aenderung
Luftathmung	127 mm	100 %	
			— 46 %
Chloroformathmung .	69 mm	54 %	
			+ 52 %
Luftathmung	79 mm	62 %	
			— 44 %
Chloroformathmung .	44 mm	34 %	
			+ 16 %
Luftathmung	52 mm	41 %	
			+ 300 %
Strychnineinspritzung	153 mm	118 %	
			— 90 %
Chloroformathmung .	90 mm	72 %	

In die Tabelle I, welche zunächst den Effect der Chloroformnarkose illustrirt, ist auch ein Versuch aufgenommen, in welchem nach dem Erwachen aus der Chloroformnarkose dem Thiere Morphin eingespritzt wurde. Auch hier trat, ebenso wie an den normalen Thieren, denen noch kein Chloroform gereicht worden ist, eine starke exspiratorische Erregung unter Mitwirkung der Bauchpresse auf, deren Folgen sich im Steigen des Abdominaldrucks manifestiren.

Die Tabelle II führt neben dem Einflusse des Abdominaldrucks durch die Chloroformnarkose einen Versuch an, in dem nach dem Erwachen aus der Narkose intravenös Strychnin eingespritzt wurde. Die Steigerung des Abdominaldrucks nach der Strychnineinspritzung ist sehr bedeutend (300 %). Hier handelt es sich nicht um vorübergehende Bauchmuskelkrämpfe, wie beim Morphium, sondern um einen andauernden Tonus der Bauchmuskulatur. Es ist leicht begreiflich, dass bei der Lähmung der Bauchmuskulatur durch Curare die Folgen der Strychnineinspritzung auf den Abdominaldruck anders sein müssen; die Bedingungen, welche sich beim athmenden Thiere an den Aenderungen des Bauchhöhlendrucks betheiligen, sind wesentlich verschieden von den Bedingungen, welche während der Curarisirung des Thieres zur Geltung kommen. Desshalb findet sich beim athmenden Thiere in Folge der Strychnineinspritzung ein mächtiges Ansteigen des Abdominaldrucks, während beim curarisirten Thiere, wie ich früher zeigte[1]), nach der Strychnininjection der Abdominaldruck nur wenig ansteigt und dann sehr erheblich absinkt. Dieses Absinken des Abdominaldrucks als Strychninwirkung beim curarisirten Thiere beruht, wie ich in der früher citirten Arbeit auseinander-

---

1) Ueber die Aenderungen des intraabdominalen Drucks. Beiträge zur experimentellen Pathologie S. 41 Fig. 18. Wien 1902.

setzte, auf der Compression der Darmgase und auf der durch Strychnin erzeugten Blutleere der Baucheingeweide.

Die vielfachen Unterschiede, welche der spontan athmende Hund hinsichtlich des Abdominaldrucks gegenüber dem curarisirten aufweist, liessen mich nochmals die Frage untersuchen, ob die Dehnbarkeit der Bauchdecken mit der wachsenden Dehnung proportional sei. Beim curarisirten Hunde habe ich festgestellt[1]), dass zwischen der Menge der innerhalb des Bauchraums frei befindlichen Flüssigkeit und zwischen der Höhe des Abdominaldrucks keinerlei Proportionalität besteht. In den beim spontan athmenden, nicht narkotisirten Thiere angestellten Versuchen erwies sich nun ebenfalls, dass keine Proportionalität vorhanden sei. Einer der diesbezüglichen Versuche sei hier wiedergegeben.

Tabelle III.

	Abdominaldruck in mm Wasser	Proc. Aenderung	
Ausgangsdruck	26	100 %	
Einfliessen von 20 ccm Wasser			+ 60 %
	42	160 %	
Einfliessen von 20 ccm Wasser			+ 100 %
	82	315 %	
	62	240 %	
Einfliessen von 20 ccm Wasser			+ 60 %
	100	384 %	
	82	315 %	
Einfliessen von 20 ccm Wasser			+ 35 %
	110	423 %	
	92	354 %	
Einfliessen von 40 ccm Wasser			+ 40 %
	128	492 %	
	112	430 %	
Ausfliessen von 20 ccm Wasser			— 43 %
	64	245 %	
	110	384 %	
Curareeinspritzung			— 56 %
	44	170 %	
Einfliessen von 100 ccm Wasser			+ 64 %
	72	276 %	
Einfliessen von 180 ccm Wasser			+ 120 %
	160	615 %	

Fernerhin habe ich mich in meinen Versuchen bemüht, über die Beziehungen der durch die active Athmung geschaffenen Bedingungen zu den Aenderungen des intraabdominalen Drucks Aufschluss zu erhalten, also die Entstehungsweise der respiratorischen Abdominaldruckschwankungen zu untersuchen.

1) l. c. S. 35.

Die erste der diesbezüglichen Literaturangaben rührt von Verstraeten[1]) her; er stellt das Gesetz auf, dass beim Hunde der Abdominaldruck während der Exspiration ansteigt und während der Inspiration sinkt, und dass beim Kaninchen das Verhalten umgekehrt sei.

Qurin[2]), der sich ausführlich mit dieser Frage beschäftigte, kam aber zu einem ganz anderen Ergebnisse; er fand, dass der intraabdominale Druck während der Inspiration steige und während der Exspiration sinke. Bei angestrengter Athmung kehren sich die Verhältnisse um, indem der Druck während der Inspiration sinke und während der Exspiration steige. Kaninchen und Hund zeigen nach seinen Untersuchungen keinerlei Verschiedenheiten hinsichtlich dieses Verhaltens. Derjenige Factor, welcher den Abdominaldruck so variabel gestalte, sei, abgesehen vom Zwerchfelle, lediglich die Bauchmuskulatur, von deren Betheiligung an der Athmung die Höhe des Abdominaldrucks während der beiden Athmungsphasen abhängig ist.

Kelling[3]) gibt an, dass bei ruhiger Athmung des Menschen der Abdominaldruck durch die Inspiration gewöhnlich erhöht werde; er fand aber auch Fälle, in denen die Athmung keinen Einfluss auf den Abdominaldruck ausübt, und endlich sah er auch inspiratorische Erniedrigungen des Drucks. Die Erklärung dieser Variabilität findet er darin, dass bei der Hebung des Rippenbogens die Bauchwand um so viel länger werde als das Zwerchfell herabtrete; dadurch sei es möglich, dass die Athmung oft ganz ohne jede Drucksteigerung oder nur mit geringer Drucksteigerung erfolge. Bei stärker gefüllter Bauchhöhle sei die inspiratorische Drucksteigerung grösser als bei normalem Füllungszustand.

Hamernik[4]) fand beim Menschen, dass ein in den Mastdarm eingeführtes Manometer bei ruhiger Athmung keine Schwankungen zeigte, bei angestrengter Athmung dagegen eine exspiratorische

---

1) Modifications de la pression intraabdominale pendant les mouvements respiratoires. Annales et bulletin de la société de médecine de Gant. Séance du 5 juillet 1887.

2) Ueber das Verhalten des normalen und pathologisch gesteigerten intraabdominalen Drucks und seine Rückwirkung auf die arterielle Blutcirculation. Deutsches Archiv f. klin. Medicin Bd. 71 S. 79. 1901.

3) l. c. Zeitschr. f. Biol. Bd. 44 S. 184.

4) Das Herz und seine Bewegung. 1858.

Steigerung des Drucks erkennen liess. Gerhardt[1]) wiederholte diesen Versuch mehrfach und überzeugte sich, dass auch bei dem ruhigsten Athmen eine Erhöhung des Drucks mit der Inspiration und eine Verminderung mit der Exspiration eintrete; bei angestrengter Respiration dagegen hing es ganz von der wechselnden Art derselben ab, ob die Inspiration oder ob die Exspiration eine überwiegende Steigerung des Drucks herbeiführte. Gewöhnlich erzeugte in seinen Versuchen die forcirte Inspiration ein höheres Steigen der Flüssigkeitssäule und die Exspiration ein schwächeres Ansteigen; während der Pause stand das Niveau am tiefsten. De la Camp[2]) berichtet über einen Fall, in dem bei gewöhnlicher Athmung der Abdominaldruck inspiratorisch stieg und exspiratorisch sank, während er bei forcirter Athmung inspiratorisch sank und exspiratorisch stieg.

Bei meinen Versuchen habe ich die von Ceradini und Luciani angegebene und von Rosenthal[3]) bei seinen Studien über die Athembewegungen benutzte Methodik zur Schreibung der Athmung aus dem Oesophagus verwendet, also die Schwankungen des intrathoracalen Drucks registrirt. Ich begnügte mich aber nicht damit, ein einfaches Glasrohr in den Oesophagus einzuführen und dieses mit einer Marey'schen Schreibkapsel zu verbinden, sondern benutzte ein im Laboratorium von Basch vielfach verwendetes Instrument, das statt einer einfachen Röhre einen durch eine Kautschukmembran abgeschlossenen Luftraum darstellt, der mit der Schreibkapsel communicirt. Bei dieser Art der Schreibung kommt es nicht vor, dass durch Eintritt reflectorischer Oesophaguscontractionen die Canüle verlegt wird, und dass die Schreibung im Laufe des Versuchs versagt.

Die Schwankungen des intraabdominalen Drucks wurden dabei nicht mit dem relativ unempfindlichen zweischenkligen, sondern mit dem empfindlichen einschenkligen Wassermanometer aufgezeichnet, weil sie bei dieser Methodik durch einen Hebelarm vergrössert zur Registrirung gebracht wurden; wie ich zu Eingang dieser Arbeit angeführt habe, kam diese Methode bei meinen mehrfach citirten Untersuchungen über die Aenderungen des intraabdominalen Drucks bei curarisirten Thieren zur Verwendung.

1) Der Stand des Diaphragmas 1860.

2) Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Zwerchfellathmung. Zeitschrift f. klin. Medicin Bd. 49 S. 431.

3) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1880, Supplementband zur physiol. Abth. S. 37.

Ausserdem habe ich versucht, neben den Schwankungen des intraabdominalen Drucks und den Aenderungen des intrathoracalen Drucks auch die Bewegungen der Bauchmuskulatur zur graphischen Darstellung zu bringen. Zu diesem Zweck wurde die Haut an einer Stelle der Bauchdecken gespalten, die Bauchmuskeln freipräparirt und in diese die Nadeln der Darmgabel eingestochen, welche ich in meiner Arbeit über Darmbewegungen[1]) benutzt habe, und die im Laboratorium von Basch zum Studium von Darmbewegungen und von Uterusbewegungen in Verwendung kommt.

Hinsichtlich der uns hier beschäftigenden Beziehungen zwischen den intrathoracalen und den intraabdominalen Druckschwankungen liegt die Angabe von Luciani[2]) vor, dass sie beim Hunde in entgegengesetztem Sinne ablaufen, beim Menschen aber gleichsinnig erfolgen. Er führt das Verhalten beim Hunde auf die active Betheiligung der Bauchmuskulatur an der Athmung zurück und stellt sich vor, dass durch die inspiratorische Ausdehnung der Lunge mechanisch das Zwerchfell in die Bauchhöhle hinabgedrückt werde, und dass in Folge dessen der Druck in dem Abdominalraum steige.

In der That muss man den Einfluss der Bauchmuskulatur und den Einfluss der Zwerchfellthätigkeit auseinanderzuhalten suchen, um zu einer richtigen Erkenntniss kommen zu können.

Wenn beide Bedingungen gleichzeitig in Action treten, werden die Verhältnisse complicirt, und das Ueberwiegen der einen oder der anderen Bedingung ändert das Ergebniss vollständig.

Der Einfluss, welchen das Herabrücken des Zwerchfells auf den Abdominaldruck übt, lässt sich am klarsten erkennen, wenn man durch die Trachealcanüle die Lungen aufbläst und das Zwerchfell in die Bauchhöhle drängt. Man sieht dabei (Fig. 5 a), dass sich mit dem Niedergehen des Zwerchfells der Abdominaldruck hebt, und dass mit dem Hinaufsteigen des Zwerchfells bei Zusammenfallen der Lunge der Abdominaldruck wieder sinkt.

---

1) Studien über die Bewegungsvorgänge in den beiden Muskelschichten der Darmwand unter dem Einflusse des Vagus und des Splanchnicus. Beiträge zur experim. Pathologie S. 55. Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien 1902.

2) Delle oscillazioni della pressione intrathoracica e intraabdominale. Torino 1877.

Umgekehrt kann man durch Ansaugen von Luft aus der Trachea, also durch Hinaufziehen des Zwerchfells (Fig. 5 b), den Abdominaldruck zum Sinken bringen.

Dem entspricht auch die an menschlichen Leichen von Hasse[1]) festgestellte Thatsache, dass das Niedergehen des Zwerchfells den Abdominaldruck steigert und das Aufwärtsgehen ihn erniedrigt.

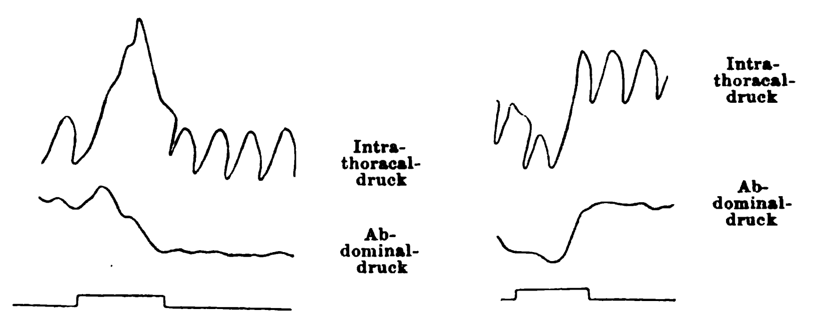


Fig. 5 *a*. Intrathoracaldruck und Abdominaldruck bei passiver Abwärtsbewegung des Zwerchfells durch Aufblasen der Lunge.

Fig. 5 *b*. Intrathoracaldruck und Abdominaldruck bei passivem Aufwärtstreten des Zwerchfells in Folge von Ansaugen von Luft aus der Trachea.

Es ergibt sich daraus, dass das bei der Inspiration erfolgende Herabrücken des Zwerchfells an sich zu einem Steigen des Abdominaldrucks und dass das bei der Exspiration vor sich gehende Hinaufwölben des Zwerchfells zu einem Sinken des Abdominaldrucks führen kann.

Eine starke Füllung des Thoraxraums und damit ein Herabrücken des Zwerchfells kann auch zu Stande kommen, ohne dass die Lunge aufgeblasen wird. Man braucht nur in die Basch'sche Oesophaguscanüle, welche, wie oben bemerkt, einen Kautschukmantel trägt, Luft einzublasen. Bei diesem Aufblasen wird wohl das Zwerchfell nach abwärts getrieben, aber die Lunge unterliegt dabei einer Compression. Die Erscheinungen bezüglich des Abdominaldrucks sind die gleichen wie beim Aufblasen der Lunge (Fig. 6); hier wie dort steigt der Abdominaldruck mächtig an. Beide Versuche demonstriren den Effect der passiven Ver-

1) Ueber die Bewegungen des Zwerchfells und über den Einfluss derselben auf die Unterleibsorgane. Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgeschichte, anat. Abth. des Arch. f. Anat. u. Physiol. 1886 S. 195.

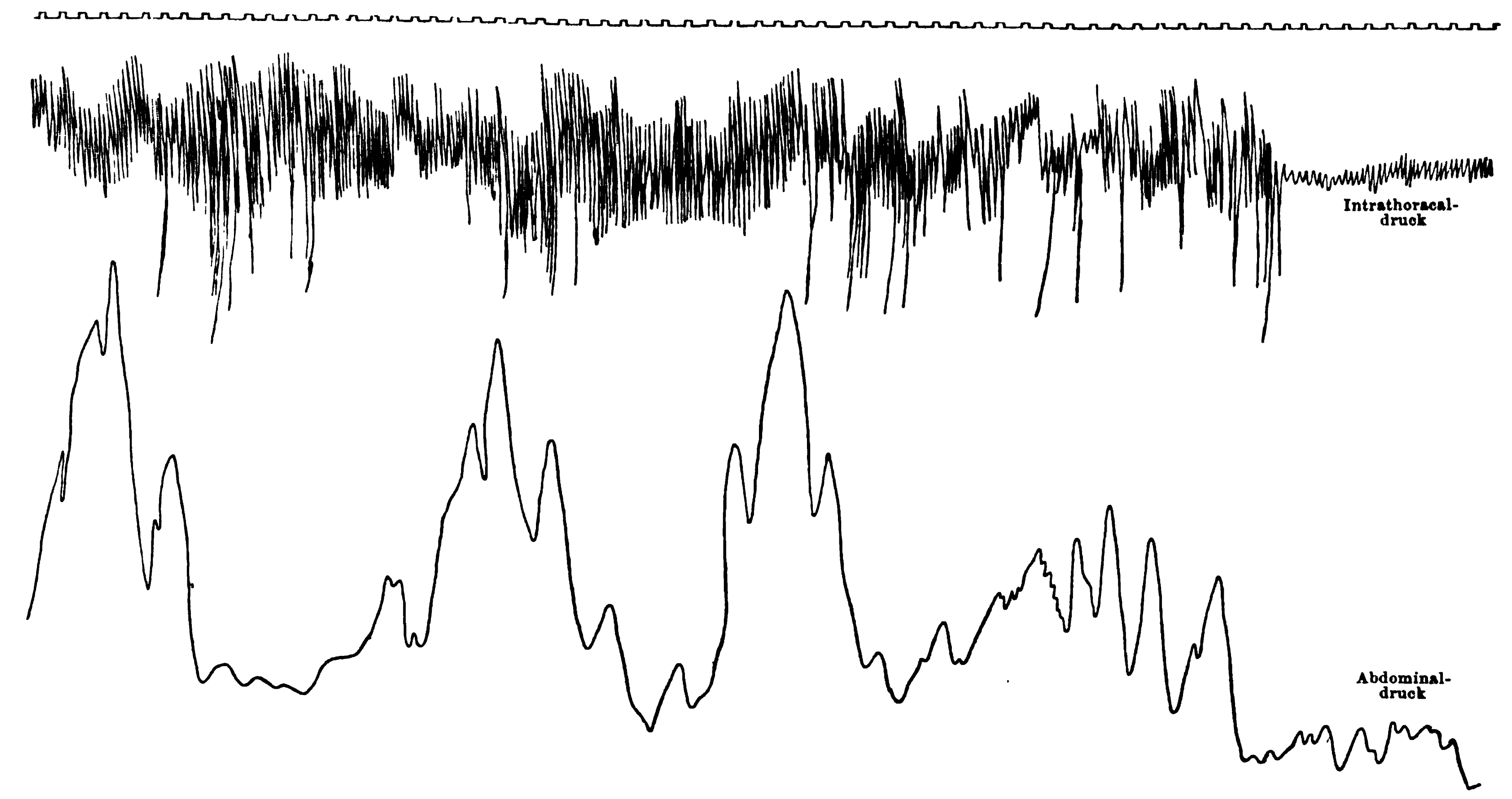


Fig. 6. Intrathoracaldruck und Abdominaldruck bei passiver Verschiebung des Zwerchfells durch Aufblasung der Oesophaguscanüle und Compression der Lunge.

schiebung des Zwerchfells in ihrer Einwirkung auf den Intraabdominaldruck.

Der Einfluss, den die Bauchmuskulatur auf die respiratorischen Schwankungen des Bauchhöhlendrucks übt, lässt sich in doppelter Weise studiren. Entweder muss man durch starke Narkose die Activität der Bauchmuskulatur aufhalten, so dass nur der Einfluss der thoracalen Respiration zur Geltung kommt, oder man muss umgekehrt die Action der Bauchmuskulatur erhöhen und den Einfluss dieser Erhöhung prüfen.

Zunächst studirte ich unter gleichmässiger Registrirung der Bauchmuskelaction und des intrathoracalen Drucks das Verhältniss zwischen den Schwankungen des intrathoracalen Drucks und den durch die Thätigkeit der Bauchmuskeln hervorgerufenen Erscheinungen an einem Thiere, das nur so weit morphinisirt war,

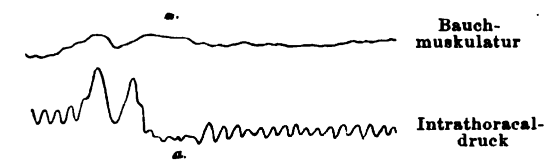


Fig. 7. Intrathoracaldruck und Bauchmuskelcurve bei thoraco-abdominaler Athmung des morphinisirten Hundes.

dass die Athmung den thoraco-abdominalen Typus darbot. Aus der vorstehenden Figur (Fig. 7) wird das bezügliche Verhalten deutlich; man sieht in dem Endabschnitte der Curve, dass bei der Exspiration sowohl eine Steigerung des intrathoracalen Drucks als auch eine stärkere Contraction der Bauchmuskulatur auftritt. Weniger auffallend ist dies bei den schwächeren Athmungen im Anfangstheile der Curve. Wir finden auch in dem mittleren Abschnitte der Curve (mit *a* bezeichnet) eine Umkehr eintreten, indem bei vermindertem intrathoracalem Drucke eine stärkere Action der Bauchmuskulatur und bei starkem Ansteigen des intrathoracalen Drucks eine deutliche Erschlaffung der Bauchmuskulatur zu beobachten ist.

Für das Zusammenfallen der Exspiration und der Erhöhung der Muskelaction spricht die von Rosenthal[1])

1) Die Physiologie der Athembewegungen und der Innervation derselben. Hermann's Handbuch der Physiologie Bd. 4/2 S. 186.

constatirte Thatsache, dass sich die Obliquusmuskulatur exspiratorisch zusammenzieht.

Wird ein Thier so stark mit Chloral und Morphin narkotisirt, dass die active Bauchathmung ganz in den Hintergrund tritt, so sieht man, wie Fig. 8 zeigt, an der Curve der Bauchmuskulatur

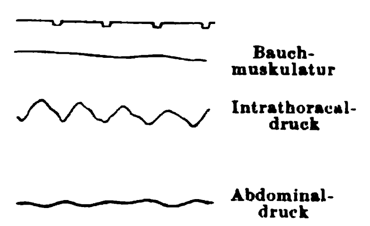


Fig. 8. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck bei dem mit Chloral und Morphin narkotisirten Hunde.

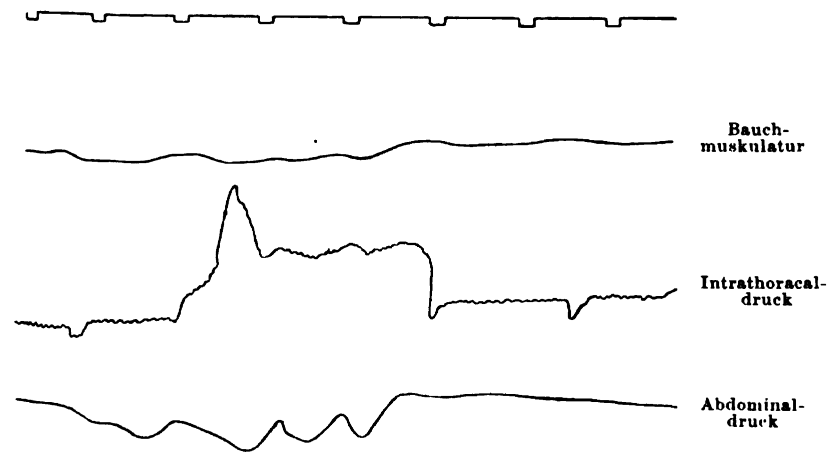


Fig. 9. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck bei ruhiger Athmung des chloralisirten Hundes.

keine Schwankungen und dementsprechend beim Vorwiegen der reinen Zwerchfellathmung während der Exspiration ein Sinken des Abdominaldrucks und während der Inspiration ein Steigen des Abdominaldrucks; es handelt sich hier somit thatsächlich um den Effect der reinen Zwerchfellaction.

Ein anderes Beispiel reiner Zwerchfellfunction beim chloralisirten Hund liefert Fig. 9. Die exspiratorische Erhebung der Respirationscurve fällt in das Sinken des Abdominaldrucks, und der lange inspiratorische, absteigende Schenkel der Respirationsschwankung

fällt ganz mit dem Erheben des Abdominaldrucks zusammen. Wie man aus der Curve der Bauchmuskulatur sieht, erfahren die Bedingungen, welche den Intraabdominaldruck während der Exspiration sinken und während der Inspiration steigen machen, eine Beihülfe durch eine sozusagen conträre Action der Bauchmuskulatur, denn die Action der Bauchmuskeln fällt hier mit der Inspiration und umgekehrt die Erschlaffung mit der Exspiration zusammen.

Nicht immer tritt aber die Bauchmuskulatur in ihrem Einflusse auf die Athmung so gegenüber dem Zwerchfelle zurück, dass in der Curve der Effect der reinen Zwerchfellsathmung zum Ausdruck gelangt.

Wie Fig. 10 zeigt, findet man auch bei ganz ruhiger Athmung, bei der die Bauchmuskulatur nicht in Action tritt, einige Phasen, in welchen die Respiration nicht die eben beschriebene Congruenz mit den Schwankungen des Abdominaldrucks zeigt.

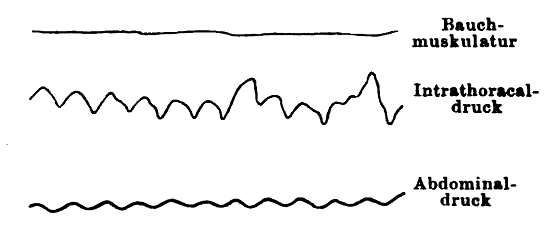


Fig. 10. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck bei ruhiger Athmung des chloralisirten Hundes.

Analysirt man die Fig. 10 näher, so sieht man, dass die Exspiration nicht so vollständig dem Sinken entspricht wie in dem früheren Falle bei der reinen Zwerchfellsathmung. Im Beginne der Exspiration sinkt zwar der Intraabdominaldruck, er steigt aber noch während der Exspiration wieder an, während die Inspiration ganz mit dem Sinken des Intraabdominaldrucks zusammenfällt. In diesem Falle bestehen also im Anfange der Exspiration die gleichen Bedingungen wie bei der reinen Zwerchfellsathmung; es gesellen sich aber zu denselben noch im Laufe der Exspiration andere Bedingungen, welche im entgegengesetzten Sinne wirken und den intraabdominalen Druck steigen machen.

Da letztere Bedingungen bei ausgesprochener Action der Bauchmuskeln mit deren Wirkung zusammenhängen, so lässt sich die Annahme nicht zurückweisen, dass, trotzdem die Curve der Bauchmuskulatur keine Aenderungen zeigt, denn doch eine leichte Action derselben mit im Spiele ist.

Wenn wir uns den gegentheiligen Effect der Inspiration, bei welcher der intraabdominale Druck sinkt, vor Augen halten, so ist auch der Fall möglich, dass die Bedingungen in einer veränderten Action der costalen Athmung zu suchen sind. Bei der Inspiration würde das Sinken des intraabdominalen Drucks auf eine stärkere Ausweitung der letzten Rippen und in Folge dessen auf eine Vergrösserung des Abdomens zu beziehen sein, während zum Schlusse der Exspiration eine Verkleinerung des Bauchraums durch eine passive Verschmälerung des oberen Bauchraums in Folge des Einsinkens der letzten Rippen zu Stande kommen könnte.

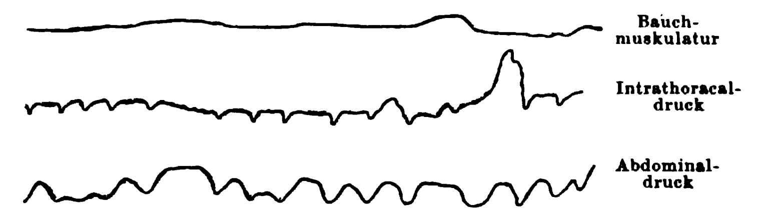


Fig. 11. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck bei ruhiger Athmung eines stark morphinisirten Hundes.

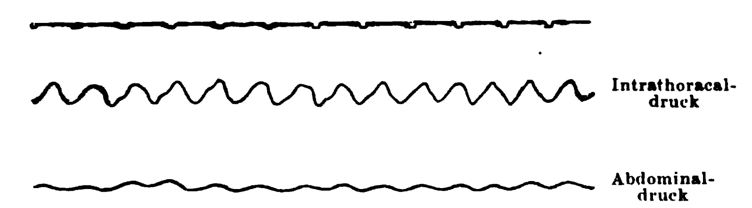


Fig. 12. Intrathoracaldruck und Abdominaldruck bei thoracaler Athmung des chloralisirten Hundes.

Noch deutlicher wird die Aenderung des Bildes in Fig. 11, welche einem Versuche an einem stark morphinisirten Hunde entstammt, der noch kein Chloral erhalten hatte. Die Athmung war ganz flach, so dass das in die Bauchmuskulatur eingestochene Nadelpaar nur sehr geringe Bewegungen anzeichnete. Man erkennt sehr deutlich, dass der tiefste Stand der Respirationscurve mit dem tiefsten Stande der Abdominalcurve und der höchste Stand der ersteren mit dem höchsten Stande der letzteren zusammenfällt, so dass hier die Inspiration von einem Sinken und die Exspiration von einem Steigen des Abdominaldrucks begleitet ist. Hier verhält sich also die Curve gerade entgegengesetzt der Curve in Fig. 8, in der die reine Zwerchfellsathmung zum Ausdruck kommt.

Das gleiche Verhalten zeigt sich in Fig. 12, die einem Versuche entnommen ist, bei dem die Bewegungen der Bauchmuskulatur nicht geschrieben wurden. Man sieht sehr schön, dass bei den Thieren zu einer Zeit, da die Beobachtung eine rein thoracale Athmung zeigte, die Exspiration zu einem Ansteigen des Abdominaldrucks und die Inspiration zu einem Sinken derselben führte.

Wir finden also bei der ruhigen, flachen Athmung drei Typen bezüglich des Verhaltens von intrathoracalem und intraabdominalem Drucke.

Der erste Typus (Fig. 8 und Fig. 9) wird von der reinen Zwerchfellsathmung dargestellt, bei der mit der Exspiration

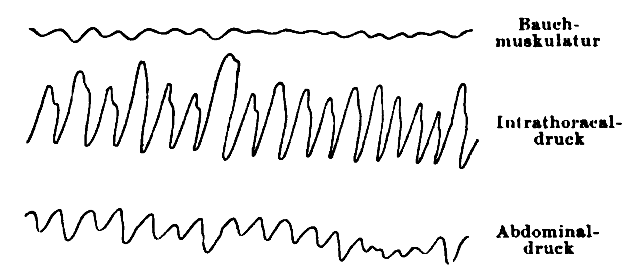


Fig. 13. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck bei spontan eintretender Dyspnoë.

ein Sinken des Abdominaldrucks erfolgt; die Curven des Intrathoracaldrucks und des Intraabdominaldrucks verlaufen ungleichsinnig.

Der zweite Typus (Fig. 11 und Fig. 12) zeigt das umgekehrte Verhalten; beide Druckcurven verlaufen gleichsinnig.

In der Mitte steht der dritte Typus (Fig. 10), in dem bei der Inspiration die Respirationscurve und die Abdominaldruckcurve gleichsinnig ziehen, während bei der Exspiration die Curven zuerst in entgegengesetztem Sinne gezeichnet werden, um dann ebenfalls einen gleichsinnigen Lauf zu nehmen.

Bei angestrengter Athmung, bei welcher die Bauchmuskulatur kräftig mitarbeitet, tritt ein neuer, ein vierter Typus auf. Bei der Inspiration erscheint das Verhältniss zwischen dem Thoracaldruck und dem Intraabdominaldrucke nach der einen oder nach der anderen Seite hin verschoben. Die Exspiration erfolgt sehr rasch, was in der Curve des intrathoracalen Drucks (Fig. 13) darin zum Ausdruck kommt, dass trotz der Länge des exspiratorischen Schenkels der Fusspunkt und der Höhepunkt desselben nur wenig von einander

abstehen. Die Exspiration fällt in das Sinken des Abdominaldrucks hinein; die Inspiration aber, die sich über einen längeren Zeitraum erstreckt, beginnt noch während des Sinkens des Abdominaldrucks, fasst das Ansteigen desselben in sich und dauert noch in das Sinken der nächstfolgenden Abdominaldruckphase hinein.

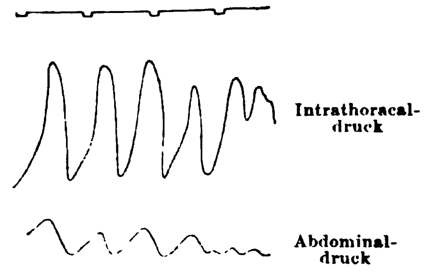


Fig. 14. Verhältniss des Abdominaldrucks zur Respiration bei heftigen Muskelkrämpfen nach intravenöser Injection von Strychnin.

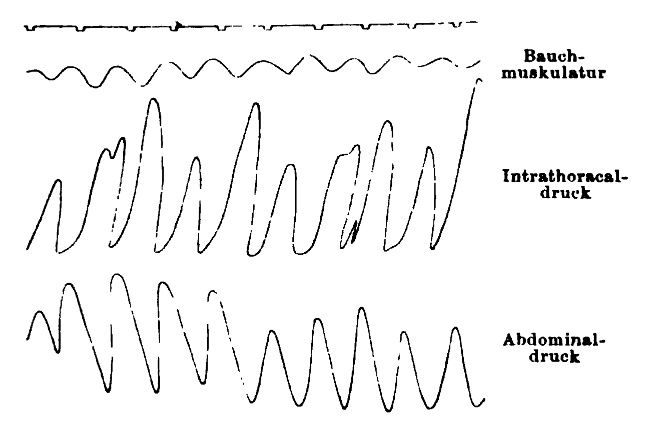


Fig. 15. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck bei dem strychnisirten und mit Chloral beruhigten Hunde.

Bei diesem vierten Typus tritt die Zwerchfellswirkung darin hervor, dass in die Exspiration das Sinken und in die Inspiration das Steigen des Abdominaldrucks fällt. Die beiden Phasen decken sich aber absolut nicht; es treten eben wegen der angestrengten Athmung im Laufe der Inspiration Factoren ein, welche das Verhältniss der Respiration zum Abdominaldruck wesentlich compliciren.

Erfolgt die angestrengte Athmung in Folge von Krämpfen der Muskulatur, wie nach einer Strychnininjection, so sieht

man sehr schön, dass die Bewegungen dem früher beschriebenen Typus II entsprechen (Fig. 14). Mit der Erhebung des exspiratorischen Schenkels erhebt sich auch der intraabdominale Druck, und mit dem Sinken des inspiratorischen Schenkels fällt auch der intraabdominale Druck ab. Der Typus wird auch nicht geändert, wenn man die Strychninkrämpfe durch grosse Chloralgaben vermindert, so dass nur die stärkere Thätigkeit der Bauchmuskeln erhalten bleibt (Fig. 15).

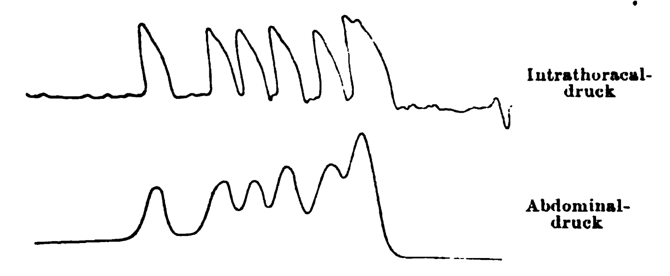


Fig. 16. Intrathoracaldruck und Abdominaldruck bei heftigen Exspirationsstössen in der Chloroformnarkose.

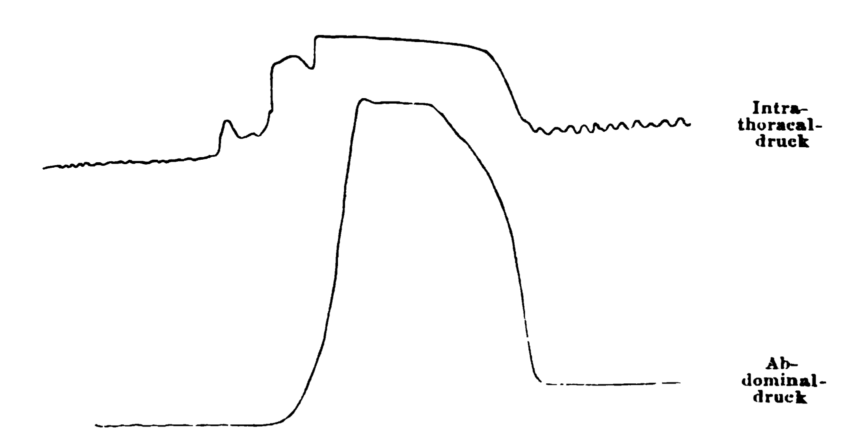


Fig. 17. Abdominaldruck und Intrathoracaldruck bei dem exspiratorischen Athmungsstillstande während der Chloroformnarkose.

Demselben Typus II entsprechen die Vorgänge bei dem Athmungsstillstand in der Chloroformnarkose. Wie Knoll[1]) nachgewiesen hat, kommt es bei Beginn der Narkose zu tetanischen Ex-

1) Ueber die Wirkung von Chloroform und Aether auf Athmung und Blutkreislauf. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch., math.-naturw. Classe Bd. 74 Abtheil. 3. S. 253. 1876.

spirationen; während dieser Exspirationsstösse tritt sehr deutlich ein Steigen des Abdominaldrucks auf (Fig. 16). Bei dem exspiratorischen Athmungsstillstande ist das Zusammenfallen der exspiratorischen Phase mit dem Steigen des Abdominaldrucks in ganz exquisirter Weise zu sehen (Fig. 17).

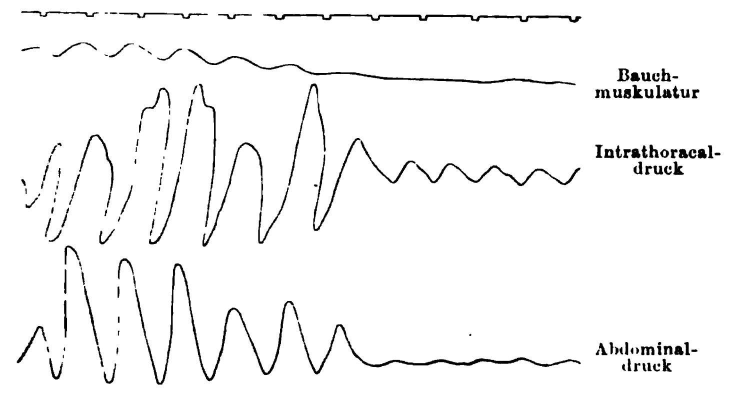


Fig. 18. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck bei Erzeugung von Dyspnoë an dem mit Chloral narkotisirten Hunde.

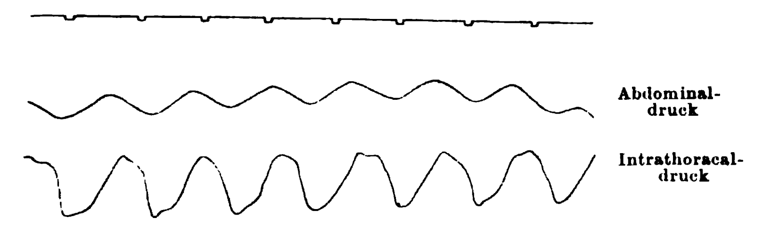


Fig. 19 *a*. Abdominaldruck und Intrathoracaldruck bei dem dyspnoischen Hunde.

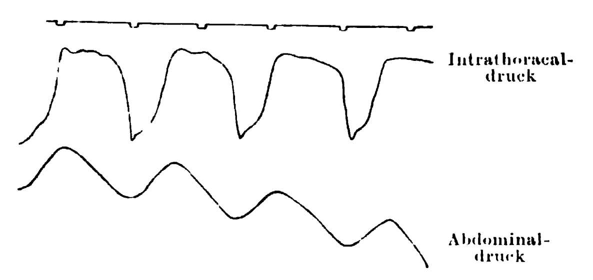


Fig. 19 *b*. Intrathoracaldruck und Abdominaldruck beim dyspnoischen Hunde.

Wird bei einem Thiere durch Verschluss der Trachea mittelst Fingerdrucks Dyspnoë erzeugt, so tritt, wie Fig. 18 ver-

anschaulicht, rasch eine Aenderung des Typus ein. Man erkennt hier, dass bei ruhiger Athmung Typus I besteht; bei Eintritt der Dyspnoë ändert sich das Bild; Typus I geht sofort in Typus II über.

Auch Fig. 19a und Fig. 19b zeigen, dass bei Dyspnoë das Verhalten des intrathoracalen zum intraabdominalen Drucke dem Typus II entspricht.

Hin und wieder trifft man aber auch bei dyspnoischen Thieren auf Stadien, in denen die beiden anderen Typen hervortreten. So

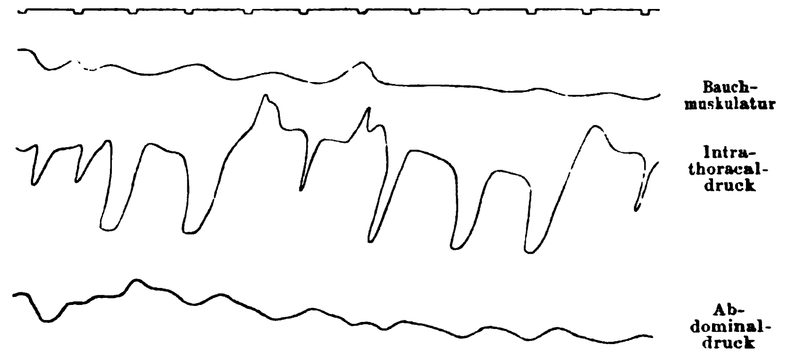


Fig. 20. Intrathoracaldruck, Bauchmuskelcurve und Abdominaldruck beim dyspnoischen Hunde.

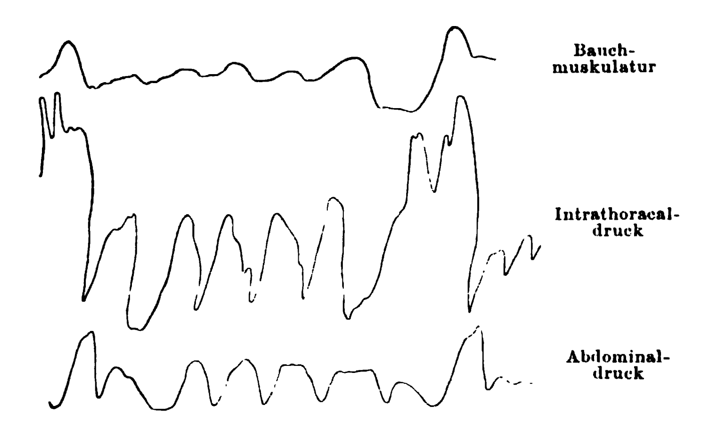


Fig. 21. Verhältniss des Intraabdominaldrucks zur Respiration und zur Action der Bauchmuskulatur bei Dyspnoë des Hundes.

stellt Fig. 20 einen Versuchsabschnitt von einem dyspnoischen Thiere dar, bei dem Typus I vorherrscht, und in Fig. 21 ist ein Versuchsabschnitt wiedergegeben, in dem ein gemischter Typus (Typus IV) zum Ausdruck gelangt.

Dass in diesen Versuchen ein wesentlicher Antheil an den Aenderungen des Intraabdominaldrucks auf die Contraction der Bauchmuskulatur zu beziehen ist, darüber kann nach den Bildern der Bauchmuskelcurve kein Zweifel bestehen.

Mit Rücksicht auf die Behauptung von Verstraeten, dass sich Kaninchen und Hund bezüglich ihres Verhaltens von Athmung und Abdominaldruck umgekehrt verhalten, möchte ich bemerken, dass mir meine Versuche am Kaninchen zwar nicht erlauben, über die ganz ruhige Athmung ein Urtheil abzugeben, beim leicht dyspnoischen Kaninchen verhält sich aber die Sache genau so wie beim leicht dyspnoischen Hunde, indem auch beim Kaninchen der Typus II vorherrscht (Fig. 22).

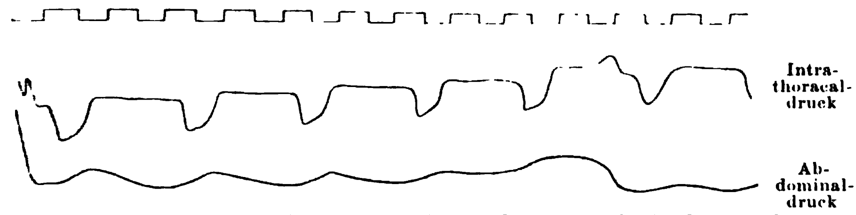


Fig. 22. Intrathoracaldruck und Abdominaldruck beim leicht dyspnoischen Kaninchen.

Wenn wir somit resumiren, so haben wir bei ruhiger Athmung zwei Haupttypen zu unterscheiden, von denen der Typus I der reinen Zwerchfellsathmung entspricht, während im Typus II das Verhältniss gerade umgekehrt ist. Daneben kommen bei ruhiger Athmung noch gemischte Typen (Typus III und IV) zur Beobachtung. Bei Dyspnoë kommt Typus II vorherrschend zur Geltung; nur selten treten Typus I und ein gemischter Typus auf.

Es handelt sich also, wie meine Untersuchungen lehren, hinsichtlich der Beziehungen des intrathoracalen zum intraabdominalen Druck um einen Complex von Bedingungen, von denen bald die einen und bald die anderen überwiegen. Hierauf ist das Entstehen der verschiedenen Verhältnisse zwischen den Respirationsphasen und den Aenderungen des intraabdominalen Drucks, welche in den verschiedenen Typen zum Ausdruck gelangen, zu beziehen.

Wenn die Bauchmuskulatur erschlafft ist und das Zwerchfell bei der Inspiration herabrückt, so tritt Typus I auf; der Abdominaldruck steigt bei der Inspiration und sinkt bei der Exspiration. Tritt die Wirkung der Bauch-

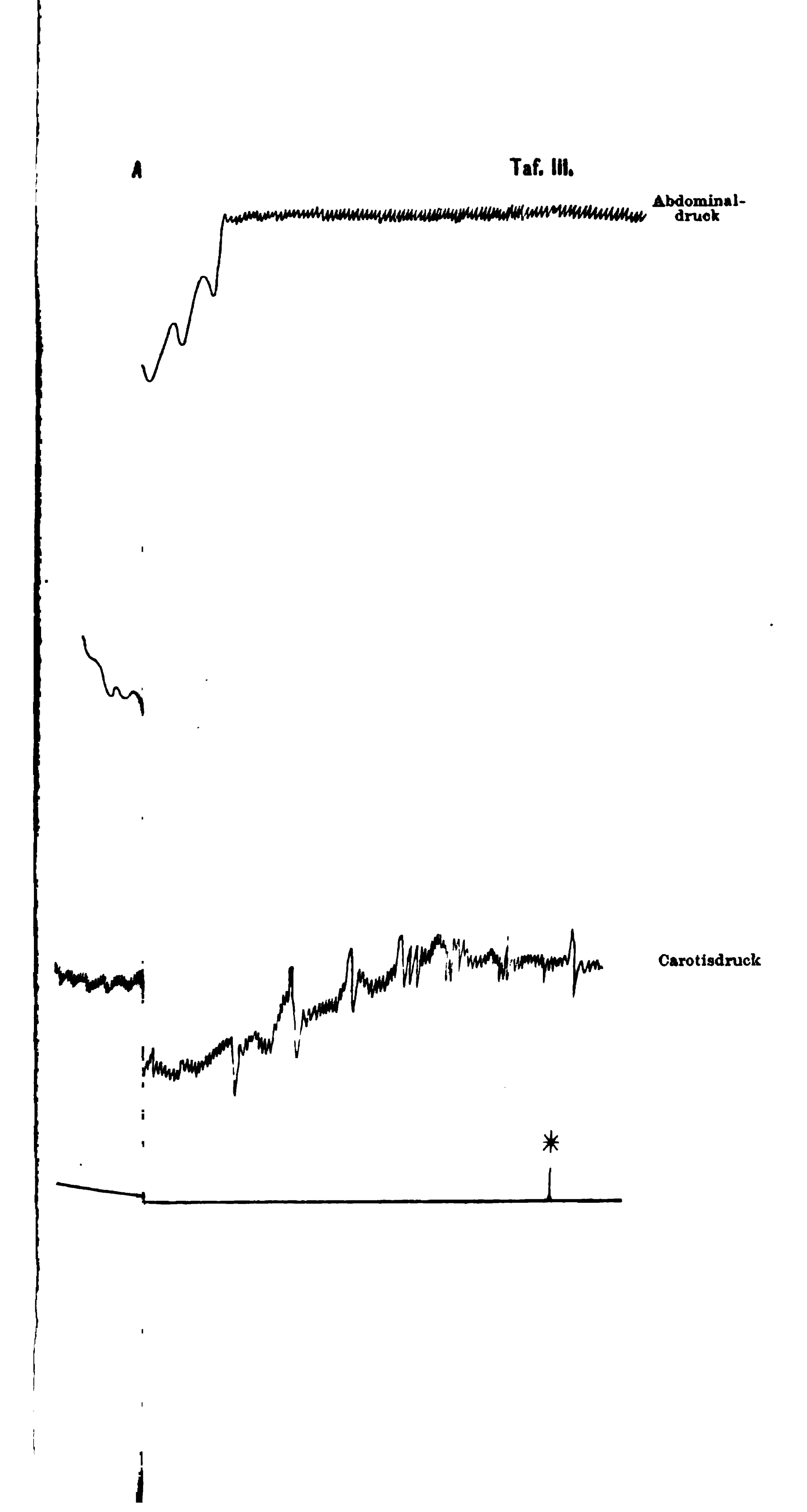
muskulatur in den Vordergrund, und erfolgt bei der Exspiration ei geringeres Hinaufwölben des Zwerchfells, so tritt bei der Exspiratio ein Steigen des Abdominaldrucks ein (Typus II). Erfolg unter gleichen Bedingungen bei der Inspiration eine Erweiterung des unteren Thoraxabschnitts, so wird da Niedergehen des Zwerchfells ausgeglichen, und der Abdominaldruck sinkt während der Inspiration; dadurch erklärt sic TypusIV, bei dem während der Inspiration der Abdominaldruck zuerst sinkt, dann ansteigt und wieder sinkt Wird aber bei der Exspiration der Bauchraum vergrössert und tritt dazu die Action der Bauchmuskeln, so kann Typus II entstehen.

Bei der Dyspnoë, bei der die Wirkung der Bauchmuskulatur prävalirt, haben wir es fast immer mit Typus II zu thun.

Es lässt sich also für das gegenseitige Verhalten zwischen den Respirationsphasen und dem Intraabdominaldruck ein allgemeines Gesetz nicht aufstellen; wir müssen uns vielmehr vorstellen, dass die beobachteten Erscheinungen verschiedenen Gesetzen folgen, denen vielfache Bedingungen zu Grunde liegen. Diese Bedingungen kommen ebenso bei solchen Thieren zur Geltung, bei welchen, wie bei dem Kaninchen, die Zwerchfellsathmung vorherrscht, wie auch bei solchen Thieren, bei denen, wie beim Hund, die active Exspiration überwiegt; es kann desshalb, wie auch meine Untersuchungen zeigen, von einem wesentlichen Unterschiede in dem gegenseitigen Verhalten des Intraabdominaldrucks und der respiratorischen Phasen nicht die Rede sein. Dieses Verhalten entspricht in beiden Fällen stets dem Ueberwiegen der einen oder der anderen Bedingungen. Sicherlich aber ist beim Hervortreten der Zwerchfellsaction bei ruhiger Athmung das Verhältniss zwischen Athmung und Abdominaldruck ganz anders als bei dem durch Dyspnoë erzeugten Ueberwiegen der Bauchmuskelthätigkeit. Dies stimmt auch mit der Anschauung von Schenck[1]), dass bei oberflächlicher Athmung das Zwerchfell relativ mehr betheiligt sei als bei tiefer Respiration.

---

1) Beiträge zur Mechanik der Athmung. Pflüger's Archiv Bd. 61 S. 493. 1895.


A
Abdominal-
druck
Carotisdruck
*

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.)

Ueber die Innervation der Thränendrüse[1].

Von

Dr. **H. Landolt,**
Privatdocent und I. Assistent der Klinik für Augenkrankheiten zu Strassburg.

Im letzten Jahrzehnt ist die Frage, welcher Nerv der Innervator der Thränendrüse sei, acut geworden. Dass im Nervus lacrymalis vom I. Aste und im N. subcutaneus malae vom II. Aste des Trigeminus secretorische Fasern für die Thränendrüse liegen, wird nicht angezweifelt; wohl aber sind Zweifel aufgetaucht, ob diese Fasern, wie früher angenommen, dem Trigeminus entstammen. Klinische Beobachtungen waren es, die dahin geführt haben, das Augenmerk auf den N. facialis als Innervator der Thränendrüse zu lenken, und zugleich wurde durch physiologische Untersuchungen diese Rolle dem Trigeminus streitig gemacht.

Klinischer Theil.

Nachdem Goldzieher[2]) schon im Jahre 1876 einen Fall von gänzlichem Sistiren der Thränenabsonderung bei completer Facialislähmung beobachtet hatte, hielt er im Jahre 1893 auf dem ophthalmologischen Congress zu Heidelberg einen Vortrag „über ein bisher unbekanntes Symptom der completen Facialislähmung" [3]), das in dem Versiegen der Thränenflüssigkeit auf der gelähmten Seite besteht.

---

1) Schon im Jahre 1900 machte ich an Kaninchen Versuche über die Innervation der Thränendrüse, deren Resultate bis jetzt nur als Manuscript gedruckt erschienen und daher nur Wenigen bekannt sein dürften. Nachdem ich in letzter Zeit die Versuche wieder aufgenommen und erweitert habe, übergebe ich dieselben, alte und neue Versuche zusammen, jetzt der Oeffentlichkeit.

2) Pester med.-chirurg. Presse 1876 Nr. 34.

3) Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde von Zehender. Jahrg. 31 Beilageheft S. 162. 1893.

Im darauffolgenden Jahre erschien von demselben Autor ein „Beitrag zur Physiologie der Thränensecretion“ [1]). Kurz gefasst ergibt sich aus beiden Arbeiten Folgendes:

Nach klinischen Beobachtungen, die unterstützt werden, jedoch noch nicht bewiesen sind durch anatomische und physiologische Daten, ist anzunehmen, dass nicht, wie bisher allgemein geglaubt, der Trigeminus, sondern vielmehr der Facialis der Innervator der Thränendrüse ist; denn bei einer Lähmung des Nerven, deren Ursache central vom Ganglion geniculi oder in diesem selbst gelegen ist, tritt ein Sistiren der Thränensecretion auf und zwar auch dann, wenn der Trigeminus vollständig intact ist.

Die bisher meines Wissens klinisch beobachteten und veröffentlichten Fälle sind folgende, wobei jedoch wohl zu beachten ist, dass es sich nur um solche Fälle handeln kann, bei denen die Läsion des Facialis nicht peripher vom Ganglion geniculi gelegen und zugleich eine Erkrankung im Stamm des Trigeminus auszuschliessen ist:

1. Wie oben schon erwähnt, berichtete zuerst 1876 Goldzieher über eine Frau, bei der in Folge linksseitiger vollständiger Facialislähmung Lagophthalmus am linken Auge bestand. Die Frau weinte nur mit dem rechten Auge, während das linke völlig trocken blieb. Nach Heilung der Lähmung traten linkerseits wieder Thränen auf. Eine leichte Hyperästhesie der gelähmten Gesichtsseite war zu erklären durch die vorausgegangene elektrische Behandlung.

2. Der zweite Fall wurde 1876 von Jon. Hutchinson [2]) mitgetheilt. Eine 34jährige Frau hatte eine vollständige Facialislähmung der rechten Seite und vollkommenes Versiegen der Thränen auf der gelähmten Seite. Zwar bestand auch eine leichte Anästhesie der gelähmten Gesichtshälfte, aber diese liess sich kaum in Verbindung bringen mit der vollständigen Thränenlosigkeit, und desshalb kann dieser Fall hier mitgerechnet werden.

3. Einen weiteren Fall beobachtete wieder Goldzieher [3]). Er behandelte 1893 eine 21jährige Frau, die bei linksseitiger vollständiger Facialislähmung mit hochgradigem Lagophthalmus nur auf

1) Archiv für Augenheilkunde Bd. 28 S. 7.

2) Ophthalm. hospital reports vol. 8 p. 53.

3) Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde von Zehender. Jahrg. 31 Beilageheft S. 162. 1893.

der rechten, gesunden Seite weinte. Die Sensibilität von Gesicht und Auge war normal.

4. Im gleichen Jahre erschien eine Publication von E. Jendrássik[1]), der bei drei Fällen von totaler Facialislähmung Ausbleiben des Weinens auf der gelähmten Seite constatiren konnte. Von besonderem Interesse ist folgende Krankengeschichte: Eine 40jährige Frau wurde von einem apoplektischen Insult befallen mit linksseitiger hochgradiger Facialisparese. Es traten zeitweise Krampfanfälle im linken Facialisgebiet auf, wobei das linke Auge sich mit Thränen füllte. Während des Lähmungszustandes bestand völlige Trockenheit des Auges, auch wenn die Nase durch Senföl gereizt wurde und das andere Auge reflectorisch in Thränen schwamm.

5. Goldzieher[2]) brachte 1895 abermals einen Fall von Mangel der Thränensecretion entsprechend der Seite, auf welcher der Facialis gelähmt war.

6. Im selben Jahre beobachtete V. Franke[3]) einen Patienten, bei welchem das Auge der gelähmten Seite beim Weinen trocken blieb.

7. Embden[4]) fand bei einem 4jährigen Mädchen, das in Folge einer Schädelbasisfractur eine rechtsseitige Facialislähmung mit Betheiligung des Gaumensegels erlitten hatte, einen Mangel der Thränensecretion auf derselben Seite. Die Function der übrigen Hirnnerven war ungestört.

8. v. Forster[5]) berichtet gleichfalls von zwei Fällen von einseitigem Weinen bei Facialisparalyse der anderen Seite.

9. Im gleichen Jahre finden wir noch einen Fall mitgetheilt von Campos[6]). Es handelt sich hier um eine rechtsseitige Facialislähmung bei rechtsseitiger Ohraffection. Die Patientin weint nur mit dem linken Auge.

10. Einen Fall von Versiegen der Thränen auf der der Facialislähmung entsprechenden Seite berichtet ferner Klapp[7]). Es bestand zugleich Taubheit derselben Seite.

1) Ueber das Verhältniss des Gesichtsnerven zur Thränensecretion. Orvosi Metilap 1893 Nr. 31 und 32.

2) Centralblatt für prakt. Augenheilkunde 1895 (Mai) S. 129.

3) Deutsche med. Wochenschrift 1895 Nr. 33.

4) Münch. med. Wochenschr. 1897 S. 1216.

5) Münch. med. Wochenschr. 1897 S. 952.

6) Archives d'ophthalmologie t. 17 p. 540. 1897.

7) Beitrag zu den Untersuchungen über die Innervation der Thränendrüse. Inaug.-Dissert. Greifswald 1897.

11. In seiner ausführlichen Arbeit theilt G. Köster[1]) 15 Fälle mit, bei denen auf der Seite der Facialislähmung das Auge völlig trocken blieb, und weitere 14 Fälle, bei denen die gelieferte Thränenmenge erheblich hinter der des nicht afficirten Auges zurückblieb. (Dann werden 11 Fälle genannt, bei denen bei Facialislähmung die Thränensecretion von vornherein vermehrt war und bei der Heilung allmählich zur Norm zurückkehrte. In diesen letzten Fällen handelt es sich wohl um eine Reizung der thränensecretorischen Fasern in Folge einer leichteren Läsion des Facialisstammes, von der die verschiedenen Fasersorten verschieden getroffen wurden.)

Wir finden also eine Reihe von klinischen Veröffentlichungen, die dafür sprechen, dass bei Facialislähmung die Thränensecretion auf der gelähmten Seite sistirt. Fragen wir uns nun, warum nicht mehr solcher Fälle noch bekannt sind, obgleich doch eine Facialislähmung nicht zu den Seltenheiten gehört, warum nicht alle Fälle von Facialislähmung eine Sistirung der Thränensecretion bedingen, so liegt die Antwort darin, dass die Facialislähmung eine complete sein muss, um das genannte Symptom zu zeigen, d. h. dass die Läsion den Stamm des Nerven getroffen haben muss, ehe sein erster Ast ihn verlässt. Es muss also die Läsion central vom Ganglion geniculi oder in diesem selbst gelegen sein, denn der erste Ast des Facialis geht, abgesehen von den Anastomosen mit dem N. acusticus, als N. petrosus superficialis major vom Ganglion geniculi ab, und in ihm liegen die Fasern, die zur Thränendrüse führen und dieselbe innerviren. Ferner sind nur solche Fälle von Facialislähmung als beweisend brauchbar, bei denen eine Mitbetheiligung anderer Nerven, besonders des Trigeminus, ausgeschlossen ist.

Bei der Mehrzahl der Facialislähmungen befindet sich die Ursache der Lähmung peripher vom Ganglion geniculi, im unteren Theile des Canalis Fallopiae, wie bei Erkrankungen des Mittelohrs und Caries des Felsenbeins, oder gar nach dem Austritt des Nerven aus dem Foramen stylomastoïdeum. Es ist daher nur eine geringe Anzahl von Facialislähmungen eine complete und dann verbunden mit einem Sistiren der Thränensecretion, und bei einer noch geringeren Anzahl von Lähmungen lässt sich dieses Sistiren als ein

1) Klinischer und experimenteller Beitrag zur Lehre von der Lähmung des Nervus facialis u. s. w. Deutsches Archiv für klinische Medicin 1900 S. 343, 1902 S. 327.

reines Symptom der Facialislähmung deuten, nämlich dann, wenn andere Nervenlähmungen das klinische Bild nicht trüben. So beobachtete ich 1898 eine vollständige linksseitige Facialislähmung bei einer 23jährigen Frau, bei der gleichzeitig ein völliger Mangel der Thränensecretion auf der gelähmten Seite bestand. Wenn ich auch meinerseits der Ansicht bin, dass die Thränenverhaltung in directem Zusammenhang stand mit der Facialislähmung, so lässt sich doch dieser Fall nicht als beweisend anführen, weil zugleich leichte Störungen im linken Trigeminusgebiet vorhanden waren.

Obgleich bei completer Facialislähmung völlige Thränenlosigkeit der gelähmten Seite eintritt, kann doch das Auge dieser Seite in Thränen schwimmen. So paradox das auch klingen mag, so lässt es sich doch leicht erklären. Von der Conjunctiva und ihren Ausbuchtungen wird fortwährend wässerige Flüssigkeit secernirt. Diese kann in Folge der Behinderung des Lidschlages bei der Facialislähmung nicht durch die Thränencanälchen abfliessen und füllt daher allmählich den Conjunctivalsack an, so dass sie schliesslich sogar über den Lidrand die Wange hinunterträufelt. Trotzdem also die Thränendrüse nicht secernirt, kann doch auf der gelähmten Seite Epiphora vorhanden sein, begünstigt durch den Lagophthalmus, und das Bild vermehrter Secretion bestehen in Vergleich mit der nicht gelähmten Seite, auf der die Thränen durch die Thränencanälchen glatt abfliessen. Als Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung können jene Fälle gelten, bei denen nach operativer Entfernung der Thränendrüse Epiphora noch weiter besteht, wenn die Thränencanälchen verschlossen sind.

Wenn wir einerseits bei einer vollständigen Facialislähmung ein Versiegen der Thränen beobachten, so lässt sich andererseits erwarten, dass eine Reizung des Facialis vom Ganglion geniculi aufwärts eine Vermehrung der Thränenabsonderung zur Folge hat. Auch hierüber finden sich verschiedene Veröffentlichungen.

H. Schüssler[1]) beschreibt folgenden Fall, der, wie auch Goldzieher hervorhebt, desshalb von besonderer Wichtigkeit ist, weil er in völlig unbefangener Weise nur als eine Nebenbeobachtung mitgetheilt wird und nicht, um einen Beweis für die Innervation der Thränendrüse durch den Facialis zu geben. Es handelte sich um einen mimischen Gesichtskrampf, zu dessen Heilung eine Dehnung

1) Berl. klin. Wochenschrift 1879 S. 684.

des Facialis vorgenommen wurde. Nach Freilegung des Nervenstammes wurde der Facialis mit einem Arterienhaken emporgehoben, und hierbei trat eine sehr reichliche, aber gleich wieder vorübergehende Thränensecretion ein. Durch das Fassen des Nerven wurde derselbe gereizt, und die Folge war eine stark vermehrte plötzliche Thränensecretion, die aber momentan auch wieder aufhörte, weil die weitere Folge des operativen Eingriffs eine Lähmung des Nerven war.

Die gleiche Beobachtung machte, ebenfalls beim Dehnen des Facialisstammes zur Heilung von mimischem Gesichtskrampf, Lumnizer in Budapest[1]), der auch eine plötzliche und energische Thränensecretion constatirte.

Wenn auch in diesen Fällen der Ort der Reizung zunächst peripher vom Foramen stylomastoïdeum lag, so lässt sich doch annehmen, dass in Folge des Zerrens am Facialisstamm das Ganglion geniculi gereizt wurde und mit diesem die Fasern, die die Thränendrüse innerviren.

Da es sich um die Frage handelt, ob der Facialis oder der Trigeminus der Innervator der Thränendrüse ist, so müssen wir, wie wir das klinische Bild der Lähmungs- und Reizerscheinungen des Facialis zum Beweise heranzogen, auch auf dieselben Erscheinungen beim Trigeminus eingehen.

Ob bei einer reinen Trigeminuslähmung secretorische Störungen vorkommen, wird bezweifelt; denn es scheint ein Versiegen der Thränensecretion auf der Seite, auf welcher der Trigeminus gelähmt ist, nur dann einzutreten, wenn der Nerv in seiner peripheren Ausbreitung erkrankt ist oder die Affection auch das Ganglion sphenopalatinum ergriffen hat[2]), welches mit dem Trigeminus in enger Verbindung steht, aber auch mit dem Facialis durch den N. petrosus superficialis major zusammenhängt.

Bei Reizerscheinungen des Trigeminus, wie beim Tic douloureux, kommt wohl vermehrte Thränenabsonderung auf dem Auge der afficirten Seite vor, jedoch wird dabei auch zuweilen Speichelfluss beobachtet. Die Speicheldrüsen werden aber durch den Facialis innervirt, und es ist daher wohl möglich, dass auch die Thränenzunahme die Folge einer Facialisreizung ist. Für die Mitbetheiligung

---

1) Von Goldzieher mitgetheilt.

2) Oppenheim, Lehrbuch der Nervenkrankheiten 1902 S. 425.

des Facialis spricht auch das öfter beobachtete Auftreten von Zuckungen der Gesichtsmuskeln.

Ein Fall von Uhthoff[1]) ist hier gleichfalls zu erwähnen. Es handelte sich um eine nach Extraction eines Zahnes im II. Aste des Trigeminus entstandene Neuritis. Es bestand einseitiges Weinen und zwar auf der nicht erkrankten Seite. Dieser Fall findet seine Erklärung darin, dass in Folge der Neuritis jene vom Facialis stammenden Fasern für die Thränendrüse zerstört worden waren, und dass dadurch die Thränensecretion auf der afficirten Seite sistirte.

Hierzu gehören ferner Beobachtungen, die Fedor Krause[2]) gemacht hat. Derselbe exstirpirte zur Heilung von Prosopalgie das Ganglion Gasseri mit günstigem Erfolge. Bei dem ersten Fall, den Krause veröffentlichte, constatirte er, dass nach der Exstirpation des Ganglion das Auge der operirten Seite, also der, auf welcher der Trigeminus unterbrochen war, gerade so weinte wie das Auge der gesunden Seite. In späteren Veröffentlichungen über weitere Fälle erklärte jedoch Krause, dass die Thränensecretion auf der operirten Seite vermindert gewesen sei, und es könnte nun zuerst scheinen, als ob das Fehlen des Ganglion Gasseri doch einen Einfluss auf die Thränensecretion ausübe. Wenn wir aber die anatomischen Verhältnisse betrachten, so findet sich leicht hierfür eine Erklärung. Der N. petrosus superficialis major liegt in seinem Verlaufe vom Ganglion geniculi zum Ganglion sphenopalatinum nach seinem Austritt aus dem Canalis Vidianus so nahe dem Ganglion Gasseri, dass bei der Exstirpation des letzteren sehr leicht eine Verletzung des genannten Nerven und mithin der Facialisfasern stattfinden kann. Somit, und zwar nach der Grösse der Verletzung, kann eine Verminderung, ja selbst ein völliges Versiegen der Thränensecretion eintreten.

Ziehen wir nun aus den genannten klinischen Beobachtungen einen Schluss, so ergibt sich, dass alle dafür sprechen, dass der Facialis die Thränensecretion beeinflusst, und zwar so, dass Lähmung des Nervenstammes ein Aufhören der Thränensecretion der gleichen Seite bewirkt, Reizung aber eine Vermehrung.

1) Neurologisches Centralblatt 1885 Nr. 23.

2) F. Krause, Deutsche med. Wochenschr. Bd. 4 S. 13. 1893. Münch. med. Wochenschr. 1895 Nr. 25 ff. — Die Neuralgie des Trigeminus nebst der Anatomie und Physiologie des Nerven. 1896. — Die Neuralgie des Kopfes. Handbuch der prakt. Chir. Bd. 1 S. 621.

Physiologischer Theil.

Die ersten experimentellen Versuche über die Innervation der Thränendrüse finden wir von Czermak[1]) angegeben. Derselbe constatirte bei Reizung des Trigeminus eine Zunahme der Secretion auf der gereizten Seite. Es folgen die Arbeiten von Herzenstein[2]), Wolferz[3]) und Demtschenka[4]).

Herzenstein folgerte aus seinen Versuchen, dass der N. lacrymalis, ein Ast des Trigeminus, der eigentliche Secretionsnerv der Thränendrüse sei, aber auch Reizung des N. subcutaneus malae die Thränenabsonderung vermehre.

Wolferz beobachtete nach Reizung der Trigeminuswurzeln wie nach Reizung des N. lacrymalis und des N. subcutaneus malae vermehrte Thränensecretion. Auch Reizung des Sympathicus am Halse rief Zunahme der Thränenmenge hervor.

Zu gleichen Resultaten wie Wolferz gelangte Demtschenka, jedoch geht aus seinen Versuchen noch weiter hervor, dass alle sensiblen Nerven, auch die vom Rückenmark ausgehenden, wie der N. auricularis magnus aus dem Plexus cervicalis, einen Einfluss auf die Thränenabsonderung ausüben.

Zur Reizung des Trigeminusstammes arbeiteten die oben genannten Autoren an decapitirten und halbirten Köpfen von Kaninchen, Hunden und Schafen, nur Demtschenka und Wolferz in je einem Versuche am lebenden Kaninchen. Die Bestimmung der Menge des Secretes der Thränendrüse geschah durch Fliesspapierstreifen, die mit umgeknicktem Falz in den Conjunctivalsack hineingehängt wurden. Aus der Länge der feucht gewordenen Strecke wurde der Grad der Secretion bestimmt.

Die folgende Arbeit ist die von Michail Reich[5]) aus dem Jahre 1873. Derselbe kommt in Folge seiner Versuche, die er im

1) Kleine Mittheilungen aus dem physiol. Institut in Pest. Sitzungsber. d. math.-naturw. Classe d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien Bd. 39 S. 529.

2) Herzenstein, Beiträge zur Physiologie der Thränenorgane. Berlin 1868.

3) Wolferz, Experim. Untersuchungen über die Innervationswege der Thränendrüse. Inaug.-Dissert. Dorpat 1871.

4) Demtschenka, Zur Physiologie der Thränensecretion und Thränenleitung. Dissert. Petersburg 1871.

5) Zur Physiologie der Thränensecretion. Graefe's Archiv für Ophthalmologie Bd. 19 (3) S. 38.

Laboratorium von E. Brücke machte, zu folgenden Ergebnissen: Reizung des peripheren Endes des durchschnittenen Trigeminus bei halbirten Köpfen vom Kaninchen, Schaf, Hund und Katze liess kein einziges Mal Vermehrung der Thränensecretion erkennen. Um am lebenden Kaninchen arbeiten zu können, unterband Reich den Truncus anonymus der einen und die Arteria vertebralis der anderen Seite, leitete künstliche Athmung ein und entfernte nun das Gehirn so weit, dass er den Trigeminus durchschneiden und reizen konnte. Da beim Kaninchen die Arteria lacrymalis und die Art. ophthalmica von der Maxillaris interna stammt, so bleibt bei solcher Anordnung des Versuches die Blutcirculation erhalten, und es wird somit nicht, wie bei halbirten Köpfen, mit entbluteter, sondern mit durchbluteter Thränendrüse gearbeitet, und endlich ist die Blutung bei der Entfernung des Gehirns verhältnissmässig gering. Aber auch so fiel der Versuch negativ aus, und es trat keine Thränenvermehrung auf, solange die Reizung auf den Trigeminus beschränkt wurde. Bei sehr starker Reizung, so dass auch zahlreiche andere Nerven mitgereizt wurden, konnte eine Zunahme der Thränenfeuchtigkeit constatirt werden. Wurde der Trigeminus der einen Seite intracraniell durchschnitten, so trat doch nach Reizung der Nase der anderen Seite reflectorisch Thränenvermehrung auf der der Trigeminusdurchschneidung gleichen Seite auf. Es können folglich keine secretorischen Fasern in dem durchschnittenen Trigeminus getroffen und zerstört worden sein. Da aber Reizung des peripheren Endes eines durchschnittenen N. lacrymalis Thränenfluss hervorrief, so folgt, dass der N. lacrymalis Secretionsfasern enthält, dass aber dieselben einem anderen Nerven entstammen müssen als dem Trigeminus.

Reizung des centralen Endes des durchschnittenen Halsstranges vom Sympathicus ergab, dass ein Einfluss auf die Thränensecretion möglich ist. Die Exstirpation des Ganglion cervicale supremum zeigte keine Einwirkung auf die Thränenabsonderung. — Reizung des N. trochlearis ergab keine positiven Resultate. Endlich wandte Reich sein Augenmerk auf den Facialis, fand aber, dass nach Ausreissung des Nerven die Innervation der Thränendrüse ungestört blieb.

Von grösstem Interesse sind ferner die Versuche von Vulpian und Journac[1]). Diese Autoren machten Studien über die Speichel

1) Ueber die Erscheinungen von secretorischer Reizung, welche sich beim Kaninchen unter dem Einfluss der Faradisation der Paukenhöhle zeigen. Compt. rend. de l'Acad. franç. t. 89 p. 393. 1879.

secretion und fanden, dass eine Reizung der Paukenhöhle beim Kaninchen constant eine Vermehrung der Thränensecretion hervorruft. Sie operirten an curarisirten Kaninchen, deren Athmung künstlich erhalten wurde, und so oft sie ihre Versuche wiederholten, fielen dieselben positiv aus: immer trat eine Vermehrung der Thränenflüssigkeit auf der Seite auf, auf welcher das Cavum tympani gereizt wurde. Besonders auffällig war wegen seiner Farbe und seiner Menge das milchweisse Secret der Harder'schen Drüse, das dem inneren Augenwinkel entquoll. Wurde nun der Facialis im Canalis Fallopiae und im Schädel herausgerissen und einige Tage nachher die Paukenhöhle faradisirt, so blieb die Thränenvermehrung auf dieser Seite so gut wie aus, während auf der anderen Seite, auf der der Facialis erhalten war, bei Reizung der Paukenhöhle starke Zunahme wie in den früheren Versuchen gefunden wurde. Die Faradisation der Paukenhöhle bewirkt also energische Vermehrung der Thränenflüssigkeit, oder, da durch die Paukenhöhle im Bogen die Chorda tympani hindurchzieht, so schien aller Wahrscheinlichkeit nach die Reizung der Chorda mit ihren Facialisfasern es zu sein, durch die die Thränenvermehrung hervorgerufen wird. Diese Ansicht aber wurde, wie wir später sehen werden, von Köster als falsch erkannt.

Arloing[1]) kam durch Versuche an Ochs, Hund, Esel und Ziege dazu, im Sympathicus des Halses secretionshemmende Fasern anzunehmen, denn nach Durchschneidung des Halssympathicus trat eine leichte Vermehrung der Thränensecretion auf dem Auge derselben Seite auf, die nach Reizung des Kopfendes des Nerven aufhörte.

Ich nenne diese Arbeit, trotzdem sie sich nicht mit dem Facialis noch dem Trigeminus befasst, der Vollständigkeit halber.

Tepliachine[2]) erhielt bei Reizung des N. lacrymalis wie des N. subcutaneus malae sichere Thränensecretion. Dieselbe trat auch auf bei intracranieller Reizung des Trigeminusstammes.

Im Jahre 1895 erschien eine Arbeit von Tribondeau[3]), in der er seine Versuche beschreibt, die er nach einer Methode anstellte, welche er „Procédé de la fenêtre ronde" nennt. Er er-

1) Arloing, Archives de physiologie 1890 p. 91.

2) Archives d'ophthalm. 1894 p. 401.

3) Journal de Médecine de Bordeaux 1895 Nr. 44. Referat: Centralblatt für prakt. Augenheilkunde 1897 S. 87.

öffnete das Mittelohr und ging dann mit einem bohrerähnlichen Instrument durch das runde Fenster in die Schnecke, perforirte weiter die innere Knochenwand und versuchte, den Facialis von hier aus zu zerstören. In der ersten Zeit schien die Thränensecretion vermehrt zu sein; nach drei Wochen aber zeigte sich deutlich ein Versiegtsein der Thränen auf der operirten Seite.

Aus dem Jahre 1896 stammt eine Arbeit von Laffay[1]), der unter Anderem zu folgenden Schlüssen kommt:

„La sécrétion intermittente des glandes acineuses orbitaires et palpébrales se fait:

a) par le trijumeau, qui transmet les impressions centripètes et apporte vraisemblablement les fibres vaso-dilatatrices;
b) par le sympathique, qui contient des fibres centrifuges excito-sécrétoires et frénosécrétoires, comme pour la sécrétion de la sueur;
c) par le facial surtout."

Auch Laffay machte seine Versuche wie Tribondeau derart, dass er vom runden Fenster aus den Facialis zerstörte.

Campos[2]) stellte seine Versuche an Affen an und kam zu folgenden Schlüssen:

Der N. lacrymalis enthält Secretionsfasern, die nicht dem Facialis entstammen. Wohl aber enthält der Orbitaast des Maxillaris superior Secretionsfasern, die nach klinischer Beobachtung dem Facialis entstammen. Die Reizung des Sympathicus hat keinen Einfluss auf die Thränensecretion. Complete Facialislähmung lässt die Thränensecretion sistiren.

In der schon oben erwähnten Arbeit legt dann Köster[3]) seine Erfahrungen nieder über Versuche, die er am Hund, der Katze, Ziege und dem Affen vorgenommen hatte. Er fand zunächst, dass, wie Vulpian und Journac auch schon beobachtet hatten, eine Reizung der Paukenhöhle die Thränensecretion der gleichen Seite vermehrte. Reizte er jedoch die isolirte Chorda, so trat keine Vermehrung der Thränensecretion auf. Die Chorda tympani hat also mit der Thränensecretion nichts zu thun. Er reizte ferner beim

1) Laffay, Recherches sur les glandes lacrymales et leur innervation. Thèse de Bordeaux 1896.

2) Archives d'ophthalmologie 1897 p. 529.

3) Köster, Deutsches Archiv für klin. Medicin 1900 S. 343, 1902 S. 327.

Rhesusaffen, Hund und der Katze intracraniell den Facialis, indem er den Schädel hinter dem Warzenfortsatz trepanirte und nach Erweiterung der Knochenöffnung bis zum Austritt des Facialis aus dem Gehirn vordrang. Auch hierbei erzielte er keine Vermehrung der Thränensecretion auf der operirten Seite.

Danach präparirte Köster den Facialis vom Foramen stylomastoïdeum bis zur Gegend des Ganglion geniculi frei und zerstörte ihn hier mit dem Paquelin. Am 7. bis 12. Tage darauf untersuchte er histologisch den N. lacrymalis und constatirte ausnahmslos das Intactbleiben seiner Nervenfasern.

In Folge dieser Versuche konnte also Köster nur zu dem Schlusse kommen, einen Einfluss des Facialis auf die Thränensecretion bei Affe, Hund und Katze zu verneinen, im Gegensatz zu seinen klinischen Erfahrungen am Menschen, die wir oben erwähnten.

Ueberblicken wir nun die bisher gemachten Versuche und ihre Resultate, so finden wir zunächst, dass sowohl im N. lacrymalis wie im N. subcutaneus malae secretorische Fasern zur Thränendrüse verlaufen. Der periphere Verlauf der Secretionsfasern ist also als bekannt anzunehmen. Anders aber verhält es sich mit der Frage nach der Herkunft dieser Fasern.

Die älteren Experimentatoren, wie Czermak, Herzenstein, Wolferz und Demtschenka, fanden, dass im Stamm des Trigeminus auch der Ursprung der secretorischen Fasern der Thränendrüse verlaufe; jedoch war die Ausführung des Versuches der Reizung des Trigeminusstammes durchaus nicht einwandsfrei. Wenn man an halbirten Thierköpfen operirt, so hat man es nicht mehr mit normalen Verhältnissen zu thun. Man arbeitet an einem nicht mehr lebenden Präparat und einer nicht mehr durchbluteten, also lebensunfähigen Thränendrüse. Abgesehen davon, dass man für seine Versuche in Folge des Nachlassens der Reizbarkeit der Nerven nur einen kurzen Zeitraum übrig hat und man sich daher mit seinen Beobachtungen beeilen muss und dabei leicht ungenau arbeitet, können ausserdem durch das Abschneiden und Halbiren der Köpfe so tief eingreifende Veränderungen gesetzt werden, dass der Erfolg oder Nichterfolg eines Versuches sehr wohl anzufechten ist. Durch das Halbiren der Köpfe kann, wie sogar mit Sicherheit anzunehmen ist, auch eine Reizung anderer Nervenfasern bedingt werden, und wenn wir daher nach Halbierung eines Kopfes und danach erfolgter Reizung des Trigeminus eine leichte Vermehrung der Thränenmenge

finden, so ist damit noch nicht erwiesen, dass gerade diese Reizung des Trigeminus die Ursache der Vermehrung ist und nicht der durch die Halbirung bedingte Reiz auf andere Nervenstämme. Wir haben es auch nur mit einer verhältnissmässig geringen Vermehrung der Thränenmenge bei den Versuchen der obengenannten Autoren zu thun gegenüber der Thränenmenge, die sich nach den Versuchen von Vulpian und Journac bei Reizung der Paukenhöhle aus dem Auge des Kaninchens ergoss.

Zu beachten ist ferner, dass, wenn die Trigeminuswurzel elektrisch stark gereizt wird, der Reiz durch die von den Aesten des Trigeminus zu anderen Nerven hinführenden zahlreichen Anastomosen oder durch Stromschleifen im Gehirn selbst auf andere Nerven übergeleitet werden kann und wir es dann nicht mehr mit einer reinen Trigeminusreizung zu thun haben. Hierher gehört wohl auch die Beobachtung Demtschenka's, dass Reizung aller sensiblen Nerven sowohl des Kopfes wie des Halses einen Einfluss auf die Thränensecretion ausübt. Es geht eben dann der Reiz, der nur einen Nerven treffen soll, durch Anastomosen oder Stromschleifen auf andere Nervengebiete über.

Zu ganz anderen Resultaten als die oben genannten Autoren kam auf Grund seiner Versuche Reich. Auch er arbeitete zunächst an halbirten Köpfen, ging aber bald, in Erkenntnis der Unzulänglichkeit dieser Methode, obgleich er nur 15 Secunden zum Halbiren bis zum Momente der Reizung des Trigeminus gebrauchte, dazu über, seine Versuche an Thieren zu machen, die lebten, und deren Thränendrüse während des Versuches weiter mit Blut versorgt war. Seine Methode habe ich oben kurz angegeben. Und Reich zeigte, dass die Reizung der Trigeminuswurzel keine Vermehrung der Thränensecretion zur Folge hatte, und weiter, dass die secretorischen Fasern der Thränendrüse überhaupt nicht aus dem Trigeminus stammen können. — Damit war die Frage, woher die die Thränendrüse innervirenden Fasern stammen, die schon beantwortet schien, wieder aufgethan.

Reich ging nun weiter. Er machte zunächst die Reizung des N. trochlearis, aber mit negativem Erfolge. Dann wandte er sich dem Facialis zu. Er machte fünf Versuche an Kaninchen, denen er den Facialis ausgerissen hatte, und fand keinen Einfluss auf die Thränensecretion. „Das entsprechende Auge wurde in keinem Falle trocken, die reflectorische Thränenabsonderung gelang vollkommen,

die Innervation der Thränendrüse nach Ausreissung des N. facialis bleibt folglich ungestört."

Hierbei blieb er stehen, und die Frage nach der Abstammung der secretorischen Fasern im N. lacrymalis und N. subcutaneus malae war unbeantwortet.

Reich war also der Erste, der experimentell auf den Facialis als Innervator der Thränendrüse einging. Das negative Resultat seiner Versuche jedoch wird erklärt durch deren Unzulänglichkeit. Reich riss den Facialis aus. Wenn er auch nicht die Stelle angibt, wo er den Nerv ausriss, so ist doch aus der Kürze der Mittheilung zweifellos zu entnehmen, dass er ihn bei seinem Austritt aus dem Foramen stylomastoïdeum und nicht intracraniell ausriss. Wie gross aber das ausgerissene Stück war, wird nicht mitgetheilt, und es ist unwahrscheinlich, dass er ein Stück erhielt, welches durch den absteigenden Theil des Canalis Fallopiae bis zum Ganglion geniculi reichte. Von diesem Ganglion geniculi aus aber denken wir uns erst die Fasern abgehend, die zur Thränendrüse führen. Die Versuche Reich's bewiesen also noch nicht, dass nicht der Facialis doch der Innervator der Gl. lacrymalis sei.

Wenn nun andere Autoren, wie Schüssler und Lumnizer[1]), bei Zerrung am Facialis zur Heilung eines mimischen Gesichtskrampfes abundante Thränensecretion beim Menschen beobachteten, so muss es sich in diesen Fällen um besonders günstige Verhältnisse gehandelt haben, denn andere Operateure konnten nicht ein Gleiches constatiren.

Die Arbeiten von Tribondeau und Laffay ergaben ein Resultat, das zu Gunsten des Facialis sprach; jedoch lässt sich gegen ihre Methode einwenden, dass sie den Facialis, ohne ihn zu sehen, im Dunkeln zerstörten, und dass daher nicht mit Gewissheit gesagt werden kann, ob dabei nicht noch andere Bahnen ausser dem Facialis verletzt wurden.

Diesen Zweifel vermied Köster bei seinen Versuchen. Er bewies durch isolirte Reizung der Chorda, dass nicht diese, wie aus den Versuchen von Vulpian und Journac hervorzugehen schien, die Trägerin der Reizung sei, welche, zum Facialisstamm fortgeleitet, eine Vermehrung der Thränensecretion hervorrufe. Da seine Versuche am freipräparirten und sichtbaren Facialisstamm kein positives

1) Siehe oben.

Resultat ergaben, so blieb noch immer der experimentelle Beweis zu führen übrig, welcher Nerv die Thränendrüse beim Thiere, besonders beim Affen, dem menschenähnlichsten Thiere, innervire.

Ich habe schon 1899—1900 Versuche an Kaninchen in dieser Richtung hin angestellt und dieselben erst in letzter Zeit auf Affen ausgedehnt, und mir ist dabei aufgefallen, dass Kaninchen sich besser für die Versuche eignen als Affen, nicht nur weil das Secret der Harder'schen Drüse milchig und daher deutlich sichtbar ist, sondern auch weil Kaninchen leichter zu weinen scheinen als Affen. Schon beim Narkotisiren kann man hin und wieder beim Kaninchen ein plötzliches Auftreten der weissen Flüssigkeit im inneren Augenwinkel beobachten. Beim Affen bemerkte ich nie nach Einathmen des Narkoticum eine deutliche Vermehrung der Thränenflüssigkeit.

Ich berichte nun zunächst über meine Versuche an Kaninchen und schliesse daran die Versuche an Affen.

Zum besseren Verständnis der Versuche muss ich kurz auf die Lage der die Flüssigkeit im Conjunctivalsack des Kaninchens erzeugenden Organe eingehen [1]).

Die Flüssigkeit wird, abgesehen vom Secret der Conjunctiva, von zwei Drüsen geliefert, von der Gl. lacrymalis und der Harder-schen Drüse. Die Thränendrüse liegt am temporalen Augenwinkel vor der temporalen Wand der Orbita. Ihre 3—5 Ausführungsgänge durchbohren die Schleimhaut des oberen Augenlides am temporalen Winkel. Hier also müssen wir die klare Thränenflüssigkeit auftreten sehen, wenn wir die Thränendrüse reizen.

Die Harder'sche Drüse liegt am nasalen Augenwinkel und reicht nach hinten an der nasalen Wand der Orbita in diese hinein. Der Ausführungsgang mündet in der concaven hinteren Seite der Palpebra tertia, der Nickhaut. Das Secret dieser Drüse unterscheidet sich wesentlich von dem der Thränendrüse, denn es ist milchig-weiss und führt feine Fetttröpfchen, während jenes vollkommen wasserklar ist.

Beide Drüsen stehen — was für die Innervation von Wichtigkeit ist — entwicklungsgeschichtlich in Zusammenhang; denn nach Schwalbe [2]) „entstammen beide einem zunächst nur dem unteren Augenlid angehörigen Drüsencomplex, der sich von da auf den

1) Siehe W. Krause, Die Anatomie des Kaninchens.

2) Schwalbe, Anatomie der Sinnesorgane 1887 S. 255.

nasalen und temporalen Augenwinkel und von letzterem auf das obere Lid ausdehnt. Der im nasalen Augenwinkel befindliche Complex entwickelt sich bei den Säugethieren zur Harder'schen Drüse, während der temporale zur Thränendrüse sich gestaltet". Beim Menschen ist die Harder'sche Drüse verkümmert. Eine kleine Drüse findet sich öfter hier am Grunde der Plica semilunaris oder in der Caruncula lacrymalis und wird als ein Rudiment der Harder'schen Drüse gedeutet.

Beim Kaninchen besteht die Harder'sche Drüse unbekümmert fort. Sie gehört mit zum Thränenapparat und ist sogar grösser und secretionsreicher als die Thränendrüse.

Um nicht zu weitschweifig zu werden, werde ich nun im Ganzen über die von mir gemachten Versuche am Kaninchen, deren Resultate durch mehrfache Wiederholungen jedes einzelnen Versuches sicher festgestellt wurden, berichten und nicht einzeln auf jeden Versuch eingehen.

Ich begann zunächst damit, festzustellen, wie sich der Feuchtigkeitsgehalt des Auges derjenigen Seite, auf der der Facialis intracraniell, also central vom Ganglion geniculi, durchschnitten war, verhalte zum Feuchtigkeitsgehalt der anderen Seite, auf der der Facialis intact war, und zwar der Feuchtigkeitsgehalt ein Mal ohne Reizung und dann nach reflectorischer Reizung.

Beim Kaninchen tritt der Facialis am oberen Rande der Medulla oblongata aus dem Gehirn hervor und läuft mit dem N. acusticus zusammen und über diesem zum Schläfenbein. Hier liegen Foramen internum canalis Fallopiae und Meatus auditorius internus so dicht neben einander in einer Grube, dass man bei einer intracraniellen Nervendurchschneidung mit dem Facialis auch fast ausnahmslos den N. acusticus durchschneidet oder doch wenigstens verletzt. Am Knie des Canalis Fallopiae liegt dann das Ganglion geniculi, aus dem der N. petrosus superficialis major abgeht. Ueber den beiden inneren Oeffnungen der Canäle für den Facialis und Acusticus zieht sich eine schmale, scharfe Knochenkante hin, über der wiederum die grössere Apertur liegt, die in die Fossa mastoïdea führt, in der der Flocculus cerebelli gebettet ist, mit dem Gehirn durch eine Brücke verbunden.

Die genaue Kenntnis der eben beschriebenen Verhältnisse ist nöthig zum Verständnis der Versuche.

Der Knochen über der Fossa mastoïdea, hinter dem äusseren Ohre, wird durch einen bogenförmigen, Haut und Muskeln durchtrennenden Schnitt freigelegt. Das Periost bleibt intact. Dann wird mit der Spitze eines starken Messers der besonders bei kleinen und jungen Kaninchen dünne Knochen derart durchstochen, dass die beiden Schnittflächen spitzwinklig zu einander stehen, darauf das kleine Knochenstück nach aussen gebrochen und umgeklappt, so dass man einen Periostknochenlappen hat. Hierdurch ist die Fossa mastoïdea eröffnet, und man kann nun mit einem feinen Messer tastend durch den Flocculus cerebelli hindurch die innere Oeffnung der Fossa suchen. Hat man diese gefunden, so führt man sein Instrument vorsichtig medianwärts und nach vorn und macht ganz vorne beginnend, am Knochen entlang gleitend eine bogenförmige Bewegung nach hinten. Hat man den Facialis durchschnitten, so muss die gleichseitige Gesichtshälfte des Kaninchens gelähmt sein. Das Unterlid dieser Seite hängt nach unten, auf Berührung der Cornea unterbleibt die Reflexbewegung, die Barthaare stehen still, und die betreffende Seite der Nase macht keine oder nur geringe Bewegungen mehr.

Nachdem man sich von der wirklichen Lähmung des Facialis überzeugt hat, wird der Periostknochenlappen in seine ursprüngliche Lage zurückgelegt, das Periost durch eine Naht vereinigt und Muskeln und Haut darüber verschlossen. — Störend für die Beobachtung sind nach dieser Durchschneidung des Facialis die Nebenerscheinungen, die die Verletzung des Acusticus hervorruft, der Nystagmus, die Drehung des Kopfes nach der operirten Seite zu und, wenn man das Kaninchen hinlegt, die Rollbewegungen nach derselben Seite, verbunden mit den bekannten schlagenden Extremitätenbewegungen.

Die Beobachtung der Augen gleich nach der Operation ergab, dass das Auge der operirten Seite nach wenigen Minuten trockner erschien als das andere Auge, auch wenn man das betreffende Auge entsprechend den Reflexbewegungen des gesunden Auges des Oefteren schloss. Auch in den nächsten Tagen liess sich constatiren, dass das Auge der gelähmten Seite trockener blieb als das andere. In der Zwischenzeit wurde das Auge, um es vor Verletzungen und Erkrankung der Cornea in Folge Eintrocknens zu schützen, mittelst Heftpflasterstreifen geschlossen. — Um die Thränendrüse reflectorisch zu reizen, wurden beide Nasenlöcher gereizt. Am besten gelang

das mit einer alkoholischen Lösung von in Oleum sinapis getauchten Wattebäuschen. Hierbei trat auf dem Auge der gesunden Seite sehr bald eine leichte Vermehrung des Flüssigkeitgehaltes des Conjunctivalsackes auf, während das Auge der gelähmten Seite auch nach öfterem Wiederholen des Reizes gleichmässig trocken blieb. Selbst auf directe Reizung der Conjunctiva reagirte dieses Auge nicht mehr mit deutlicher Zunahme der Thränenmenge. Diese Versuche wurden öfter wiederholt und später durch die Section der Köpfe die Durchschneidung des Facialis festgestellt.

Das Resultat war also folgendes: Nach intracranieller Durchschneidung des Facialis wird die Flüssigkeitsmenge im Conjunctivalsack des gleichseitigen Auges im Vergleich zu der des Auges mit intactem Facialis herabgesetzt und bleibt auch herabgesetzt nach reflectorischer Reizung. Die Durchschneidung des Facialis übt also einen Einfluss auf die Flüssigkeitsmenge im Conjunctivalsack aus.

Diese Versuche sind jedoch, wie oben erwähnt, nicht eindeutig genug; denn bei der Durchschneidung des Facialis im Dunkeln, d. h. wenn der Operateur den Nerv direct nicht sehen kann, finden Nebenverletzungen statt, die das Bild trüben können. Ich suchte daher an zahlreichen Kaninchenköpfen eine Methode zu finden, durch die man den intracraniellen Stamm des Facialis allein, ohne Verletzung anderer Nerven, und zwar am lebenden Kaninchen freilegen, durchschneiden und reizen könne. Das gelang auf folgende Art:

Wie ich mich überzeugt hatte, bleibt die Verletzung des Flocculus cerebelli, ja seine völlige Entfernung gänzlich ohne Einfluss auf das Verhalten der Kaninchen. Die Thiere sind am folgenden Tage, selbst nach der Herausschneidung des Flocculus, wieder völlig munter und weisen keinerlei pathologische Symptome auf.

Es wurde daher jetzt wie bei den ersten Versuchen der Knochen hinter dem äusseren Ohre breit freigelegt, aber das Periost zurückgeschabt. Dann wird mit Meissel und Hammer die Fossa mastoïdea in ihrer ganzen Ausdehnung eröffnet und noch ein schmaler Streifen vom Knochen des Schädeldaches nach der Mittellinie zu weggenommen. Der Flocculus cerebelli wird aus der Fossa mastoïdea herausgehoben und an seiner Wurzel abgeschnitten. Zuletzt wird die Knochenspange, die das innere Foramen mastoïdeum nach oben begrenzt, mit einer Knochenzange an beiden Enden durchgekniffen und herausgeholt. Der Boden der Fossa mastoïdea liegt nun klar vor Augen, und man ist, da nahe unter dem unteren Rand des Foramen

mastoideum internum die innere Oeffnung des Canalis Fallopiae liegt, im Stande, wenn man das Gehirn mit einem zu diesem Zwecke geformten kleinen Spatel sanft bei Seite drängt, den Facialis kurz vor dem Eintritt in seinen Canal deutlich zu sehen, ihn unter Leitung der Augen zu durchschneiden und mittelst feiner Elektroden zu reizen. Die Blutung bei der Operation kann, wenn man nicht sehr vorsichtig und mit Geduld vorgeht, eine sehr heftige, besonders aus verletzten Sinus, sein, jedoch lässt sie sich meist durch längeres Tamponiren stillen. In der Mehrzahl der Fälle habe ich daher zweizeitig operirt: am ersten Tage habe ich die Operation gemacht, dann, um bei der Manipulation am Nerven durch Blutungen weniger gestört zu werden, die ganze Wunde tamponirt, die Haut durch Nähte über dem Tampon geschlossen und am folgenden Tage erst, nach Wiederöffnung der Wunde, die Versuche am Facialis angestellt und dann meist ohne jede grössere Blutung. Zur Beleuchtung des Operationsfeldes in der Tiefe bediente ich mich einer elektrischen Stirnlampe, die durchaus nöthig ist.

Ich begann mit der faradischen Reizung des Facialisstammes. Der Erfolg war, wenn auch nicht unerwartet, doch in Folge seiner unanfechtaren Deutlichkeit ein äusserst überraschender. Kaum wurde der Facialis gereizt, so trat, abgesehen von der Contraction der von ihm innervirten Muskeln, zunächst eine ausgesprochene Vermehrung der klaren Flüssigkeit im Conjunctivalsack ein und gleich darauf ein Hervorquellen einer weisslichen Flüssigkeit in noch bedeutend grösserer Menge aus dem inneren Winkel des Auges. Hörte man mit der Reizung des Facialis auf, so verschwand alsbald die Flüssigkeit aus dem Conjunctivalsack, um, sobald man die Reizung wiederholte, sich wieder zu erneuern. Nach öfterer Wiederholung der Reizung wurde die Zunahme etwas geringer; wartete man jedoch dann einige Minuten, um den Drüsen Zeit zu geben, sich zu erholen, so trat bei Reizung wieder die Erscheinung der Zunahme von klarer, wässeriger und milchiger Flüssigkeit wie im Anfang auf. Selbstverständlich gab ich bei der Reizung des Nerven darauf Acht, dass ich den elektrischen Strom nur so schwach nahm, dass er nur auf den Nerven einwirkte, den meine Elektroden berührten, den N. facialis, und nicht durch Stromschleifenbildung auf andere Nervengebiete übergeleitet wurde. In Folge dessen war auch die Reizung genau auf das Facialisgebiet beschränkt, und es traten keine Reizerscheinungen im Gebiete anderer Nerven auf.

Es war also kein Zweifel, dass Reizung des intracraniellen Stammes des Facialis ausgesprochene Flüssigkeitsvermehrung im Conjunctivalsack der gleichen Seite hervorrief. Das Auge der entgegengesetzten Seite blieb immer gleichmässig feucht und zeigte keine Zunahme der Feuchtigkeit. Und zwar trat bei der Reizung auf dem gereizten Auge zweierlei Flüssigkeit auf, eine klare und eine milchige, die eine aus der Thränendrüse und entsprechend der Kleinheit dieses Organes in geringerer Menge, die andere und milchige aus der Harder'schen Drüse und ihrer Grösse entsprechend auch in bedeutend grösserer Menge. Dass die milchige Flüssigkeit aus der Harder'schen Drüse stammte, liess sich deutlich daran erkennen, dass dieselbe unter der Nickhaut, auf deren concaver Seite der Ausführungsgang dieser Drüse mündet, hervorquoll. Die weisse Färbung der Flüssigkeit liess dies ohne Weiteres deutlich erkennen. Um jedoch die Herkunft der wasserklaren Flüssigkeit festzustellen, war es nöthig, den Ausführungsgang der Harder'schen Drüse zu verschliessen. Das geschah einfach dadurch, dass die Palpebra tertia im Ganzen nahe ihrer Wurzel mit einer Klemmpincette zusammengedrückt wurde und mit ihr der Ausführungsgang der Harder'schen Drüse. Wurde nun der Facialis gereizt, so füllte sich der Conjunctivalsack nur mit der wasserklaren Flüssigkeit, und es liess sich deutlich erkennen, dass dieselbe am temporalen Winkel des oberen Augenlides herausfloss, wo die Ausführungsgänge der Thränendrüse münden.

Oeffnete man dann die Klemmpincette an der Nickhaut, so quoll in weissem Strome das angestaute Secret der Harder'schen Drüse nach. Sehr deutlich war das in einem Fall. Die Klemmpincette hatte, da sie vielleicht zu fest fasste, die Nickhaut so zusammengeklemmt, dass der Ausführungsgang auch nach Entfernung der Pincette verschlossen blieb. Selbst nach mehrfach wiederholter Reizung des Facialis blieb das weisse Secret aus, doch wurde dabei beobachtet, dass die Nickhaut, wie dicker werdend, sich ein wenig vom Bulbus abhob. Als ich dieselbe nun von der Wurzel her mit dem schmalen Stiele eines Instrumentes massirte, quoll andauernd eine grosse Menge des Secrets der Harder'schen Drüse heraus, das sich angestaut hatte.

Ich durchschnitt ferner unter Leitung der Augen den Facialisstamm und schützte das periphere und centrale Ende vor gegenseitiger Berührung durch ein dazwischengeschobenes Glimmerplättchen. Ich reizte dann das Gehirn an den verschiedensten Stellen oberfläch-

lich und in der Tiefe, um eine etwaige Wirkung auf anderem Wege auf die Thränendrüse zu constatiren. Aber es trat nie eine nachweisbare Vermehrung des Secretes auf. Das Auge der gereizten zeigte zu dem der nicht gereizten Seite keinen Unterschied in der Menge der Flüssigkeit im Conjunctivalsack.

Hat man den Facialis und den Acusticus durchschnitten, so ist man im Stande, mit Vorsicht das Gehirn so weit mit dem Spatel bei Seite zu schieben, dass man ganz in der Tiefe den Stamm des Trigeminus zu Gesicht bekommt. Ich brachte meine Elektroden an den Trigeminus und reizte. Das Kaninchen bezeugte Schmerzempfindung, aber so oft ich den Versuch erneuerte, konnte ich doch nie eine Vermehrung der Thränenflüssigkeit auf der gereizten Seite erzielen. Ich stimme darin also mit Reich überein, dass eine Reizung des Trigeminus keinerlei Einwirkung auf die Thränendrüse ausübt.

Da das periphere Ende des durchschnittenen Facialis mit einem kleinen Stumpfe im Knochencanal stecken bleibt und nicht ganz hineinschlüpft, so war es mir möglich, auch nach der erfolglosen Reizung des Trigeminus wieder den Facialis zu reizen, und sogleich trat die abundante Vermehrung der Thränensecretion auf.

Neben der Vermehrung der Thränensecretion war immer eine starke Vermehrung der Speichelflüssigkeit zu beobachten, die den Kaninchen während der Reizung des Facialis zum Maule herausfloss.

Alle diese Versuche wurden an lebenden Kaninchen gemacht, denn keines der Thiere starb während der Versuche; vielmehr konnte ich bei mehreren Kaninchen, indem ich die Wunde in der Zwischenzeit durch Nähte verschlossen hielt, meine Versuche an mehreren Tagen wiederholen.

Ich überzeugte mich zuletzt immer durch die Section der Köpfe von der richtigen Localisirung meines Reizangriffes, nicht weil ich irgend einen Zweifel hätte haben können, denn ich sah ja die Nerven, an denen ich manipulirte, sondern um mich etwaigen Einwendungen gegenüber sicherzustellen.

Es ergab sich aus diesen Versuchen also, dass beim Kaninchen im Facialisstamm, gleich den secretorischen Fasern für die Speicheldrüsen, central vom Ganglion geniculi Fasern verlaufen, deren Durchschneidung ohne Reizung ein Aufhören der Thränensecretion, deren Reizung jedoch eine Vermehrung der Thränensecretion be-

dingt, und dass der Trigeminusstamm nicht die Innervatoren der Thränendrüse birgt.

Da wir nun im Nervus subcutaneus malae und im N. lacrymalis die secretorischen Fasern für die Thränendrüse wiederfinden, so ist aus anatomischen Gründen anzunehmen, dass die Fasern vom Ganglion geniculi durch den N. petrosus superficialis major zum Ganglion sphenopalatinum verlaufen, das mit dem II. Aste des Trigeminus in directer Verbindung steht. Der N. subcutaneus malae aber steht durch eine constante Anastomose mit dem N. lacrymalis in Zusammenhang.

Nach Moll[1]) könnten auch die Facialisfasern durch die Chorda tympani zum III. Ast des Trigeminus geleitet werden, zum Ganglion Gasseri zurückverlaufen, von hier aus zum I. und II. Ast des Trigeminus gelangen und auf diesem sehr umständlichen Wege die Thränendrüse innerviren. Dieser Weg hat sich schon durch die Versuche von Köster als unrichtig erwiesen, der ja, wie oben schon erwähnt, zeigte, dass in der Chorda tympani keine thränensecretorischen Fasern verlaufen.

Wie sich aus meinen weiteren Versuchen ergab, hat sich der erstgenannte und wahrscheinlichere Weg denn auch als der richtige erwiesen.

Es war, um den Beweis zu liefern, nöthig, den Facialis in seinem weiteren Verlauf von seinem Eintritt in das Foramen internum canalis Fallopiae bis zu seinen Verzweigungen in den Gesichtsmuskeln freizulegen und die Stelle zu bestimmen, von der die Fasern für die Thränendrüse abzweigen.

Der Verlauf der dazu nothwendigen Operation war folgender: Wie bei den früheren Versuchen wird beim Kaninchen der Knochen hinter dem äusseren Ohre breit freigelegt und das Periost zurückgeschabt. Die Fossa mastoïdea wird mit Meissel und Hammer völlig eröffnet und der Knochen besonders nach aussen bis zum Boden der Grube weggenommen. Nachdem dann der Flocculus cerebelli, dessen Entfernung ja auf das Kaninchen keinen merkbaren Einfluss hat, herausgenommen worden ist, liegt das Dach der Paukenhöhle klar vor Augen. Dieses wird mit einem spitzen Instrument vorsichtig perforirt und mit einer feinen Knochenzange beseitigt.

---

1) Alf. Moll, Der Reizzustand des Auges, drei durch Trigeminusreizung ausgelöste Reflexe. Centralbl. f. prakt. Augenheilkunde. März 1898.

Unter dem vorderen Theile des Daches tritt dann der Facialis zu Tage, der von seinem Eintritt in das Schläfenbein bis zum Austritt aus dem Foramen mastoïdeum freigelegt wird. Auf diese Weise haben wir den Facialis von seinem Austritt aus dem Gehirn bis zu seiner Vertheilung in die Muskeläste vor uns und können ihn an beliebiger Stelle reizen. Das Ganglion geniculi, von dem der N. petrosus superficialis major abzweigt, liegt nahe dem Meatus internus canalis Fallopiae in einer Knochengrube. Da die Operation mit grösster Vorsicht gemacht werden muss, so erfordert sie immer einen Zeitraum von 1 bis 1½ Stunde.

Mittelst feiner Elektroden reizte ich nun den Facialis an verschiedenen Stellen seines Verlaufs, und es ergab sich: Reizung des Nerven central vom Ganglion geniculi rief prompt vermehrte Thränensecretion im gleichseitigen Auge hervor. Das Gleiche geschah bei Reizung des Nerven in der Gegend des Ganglion geniculi. Reizte ich peripher vom Ganglion, so trat, wenn die Reizungsstelle nahe demselben lag, noch vermehrte Thränensecretion auf; sie blieb aber aus, wenn ich weiter vom Ganglion entfernt in der Gegend des Foramen mastoïdeum oder ausserhalb desselben reizte. Der Abgang der secretorischen Fasern für die Thränendrüse musste also in der Gegend des Ganglion geniculi liegen.

Ich durchschnitt nun den Facialis central kurz vor dem Ganglion. Reizung des centralen Endes hatte keine Vermehrung der Thränensecretion zur Folge, Reizung des peripheren Endes deutliche Vermehrung. Ich durchschnitt dann den Facialis peripher kurz hinter dem Ganglion geniculi. Reizung des peripheren Endes rief keine Vermehrung der Thränensecretion hervor, wohl aber die Reizung des centralen Endes des Nerven. Das isolirte Stück Facialis reagirte also auf die elektrische Reizung mit Vermehrung der Thränensecretion.

Daraufhin fasste ich dieses Stück Facialis mit der Pincette und entfernte es. Reizung der Paukenhöhle an irgend welcher Stelle hatte keinen Einfluss auf die Thränensecretion; wenn ich aber die Elektroden an die Stelle brachte, wo der vom Ganglion geniculi abgerissene N. petrosus superficialis major liegen musste, trat prompt wieder die Vermehrung der Thränensecretion ein. Es ergab sich folglich aus diesem Versuch, dass die secretorischen Fasern für die Thränendrüse in den N. petrosus superficialis major eingetreten waren, dass sie peripher vom Ganglion geniculi nicht mehr im Facialis vorhanden waren.

Da diese Fasern im N. petrosus superficialis major liegen, so müssen sie im Ganglion sphenopalatinum wieder zu finden sein. Meine nächsten Versuche sollten daher dem Ganglion sphenopalatinum gelten.

Es ist hier zu klarem Verständniss wieder nöthig, kurz auf die anatomischen Verhältnisse des Trigeminus beim Kaninchen einzugehen.

Aus dem Ganglion Gasseri geht der N. ophthalmicus, maxillaris superior und inferior hervor. Der N. ophthalmicus verläuft durch die Fissura orbitalis und gibt im Hintergrunde der Orbita den N. lacrymalis ab. Der N. maxillaris superior geht zunächst, mit dem N. ophthalmicus vereinigt, durch die Fissura orbitalis, mit der das Foramen rotundum verschmolzen ist, nach vorn und gibt im Hintergrunde der Augenhöhle den N. subcutaneus malae ab, der zum Canalis zygomaticus zieht. Medianwärts neben dem N. maxillaris superior liegt das Ganglion sphenopalatinum, durch den N. sphenopalatinus mit dem Maxillaris superior verbunden. Das alles liegt in der Tiefe der knöchernen Augenhöhle, die nach unten nur durch eine Membran verschlossen wird, welche sich lateralwärts an den Arcus zygomaticus anheftet.

Die Tiefe der Orbita wie das enge Aneinanderliegen der Nerven und des Ganglion sphenopalatinum am Grunde der Augenhöhle machen es unmöglich, das Ganglion sphenopalatinum beim lebenden Kaninchen isolirt zu reizen. Wohl aber ist es möglich, den N. ophthalmicus und den N. maxillaris superior nach ihrem Austritt aus der Fissura orbitalis sich klarzulegen und zu reizen. Die Operation gestaltet sich folgendermaassen: Durch einen Schnitt am oberen Rande des Arcus zygomaticus bis über den äusseren Augenwinkel hinauf und einen Schnitt senkrecht vom äusseren Augenwinkel nach unten wird die Haut durchtrennt und der Lappen nach unten umgeklappt. Dann werden die Muskeln vom Arcus zygomaticus losgetrennt und dieser vorne und an seiner Wurzel hinten mit der Zange durchgekniffen und entfernt. Darauf arbeitet man sich an der hinteren knöchernen Augenhöhlenwand allmählich in die Tiefe und gelangt nach Durchtrennung der am Knochen anhaftenden Muskeln und Fascien bis zum N. ophthalmicus und N. maxillaris superior, die aus der Fissura orbitalis hervortreten. Dazu ist es nöthig, den Bulbus mittelst geeigneter Spatel nach vorne zu drängen und das Orbitalfett und die Drüsen zur Seite zu schieben. Die

Operation wird durch profuse Blutungen und das vordrängende Gewebe sehr erschwert.

Bei einzelnen Kaninchen habe ich auch, um besser in die Tiefe gelangen zu können, vorsichtig, ohne jede Nebenverletzung, den Bulbus enucleirt.

Der Erfolg der Reizung der Nervenstämme in der Tiefe der Augenhöhle war ein verschiedener. Die Reizung des N. maxillaris superior ergab fast immer eine Vermehrung der Thränensecretion. Bei einem Kaninchen trat dieselbe auch ein bei Reizung des N. ophthalmicus. Dass auch nach der Reizung überhaupt kein Erfolg eintrat, war wohl bedingt durch die Schwierigkeiten, die die Blutungen in der Tiefe der Orbita boten.

Der Schluss, den ich aus diesen Versuchen ziehen konnte, war folgender:

Beim Kaninchen verlaufen im Facialisstamm secretorische Fasern für die Thränendrüse. Dieselben verlassen den Facialis im Ganglion geniculi und treten in den N. petrosus superficialis ein. Wir finden sie wieder im N. maxillaris superior und bei einzelnen Kaninchen auch im N. ophthalmicus. Letzterer Nerv scheint nur selten der Träger secretorischer Fasern für die Thränendrüse bei Kaninchen zu sein. —

Bis jetzt hatte ich meine Versuche alle an Kaninchen gemacht. Es lag mir nun daran, dieselben auch auszudehnen auf Thiere, die anatomisch dem Menschen näher stehen als Kaninchen, auf Affen. Ob diese in Wirklichkeit für Versuche über die Thränensecretion geeigneter sind, erscheint mir, wie schon gesagt, fraglich, da die Erfahrung mich lehrte, dass Affen weniger Thränen produciren als Kaninchen, deren stark entwickelte Drüsen der Augenhöhle erhebliche Mengen von Thränen secerniren. Jedenfalls ist die Beobachtung der Thränensecretion bei Kaninchen durch die weisse Färbung der Flüssigkeit der Harder'schen Drüse sehr erleichtert.

Versuchsthiere waren bei den folgenden Versuchen Meerkatzen, also Vollaffen.

Das Ziel der Operation war, die Gegend des Ganglion geniculi so freizulegen, dass man den Facialis an dieser Stelle isolirt reizen konnte.

Bei der ersten Operation ging ich so vor, dass ich, nach Blosslegung des Knochens hinter dem Ohre durch bogenförmigen Haut-

schnitt, die Paukenhöhle mit Meissel und Hammer breit eröffnete, hier den Facialis aufsuchte und vorsichtig bis zum Ganglion geniculi freipräparirte. Dabei wurde aus Versehen der Facialis peripher vom Ganglion geniculi durchschnitten.

Als ich nun die Gegend des Ganglion geniculi mit der Elektrode reizte, konnte ich zunächst keine Vermehrung der Thränensecretion der gleichen Seite constatiren. Da ich vermuthete, dass ich den Nerv lädirt hätte, so schloss ich die Wunde durch Nähte und wartete bis zum anderen Tage, um den Nerv sich erholen zu lassen. Am folgenden Tage öffnete ich die Wunde und reizte wieder und erhielt nun nach der Reizung im gleichseitigen Auge eine sichtbare Vermehrung der Thränensecretion. Es bildete sich im inneren Winkel des Auges, der tiefsten Stelle eine Thräne, die nach einiger Zeit über die Nase des Affen hinabfloss. Eine zweite sichtbare Thräne konnte ich jedoch trotz wiederholter Reizung nicht erzielen. Ich griff desshalb zu der schon von anderen Autoren benutzten Methode zum Nachweis einer vermehrten Thränensecretion und legte in beide Augen einen schmalen, gleichbreiten Streifen Fliesspapiers, der mit kurz umgeknicktem Ende in das untere Lid eingehakt wurde, während das andere Ende über das Gesicht des Affen hinabhing. Beide Streifen feuchteten sich gleich am oberen Ende etwas an. Reizte ich nun den Facialis wieder, so trat eine deutliche Zunahme der Feuchtigkeit in dem Streifen Fliesspapiers des gleichnamigen Auges auf, während der Streifen des anderen Auges keine oder nur geringere Zunahme aufwies. Es trat also eine sichere, wenn auch nicht sehr erhebliche Vermehrung der Thränensecretion an dem Auge auf, das der Seite des gereizten Facialis entsprach.

Da mir die nächste in der oben beschriebenen Weise vorgenommene Operation bei einem zweiten Affen misslang, so ging ich das nächste Mal auf folgende Weise vor:

Ich legte wieder den Knochen hinter dem Ohre des Affen durch bogenförmigen Schnitt frei, suchte mir aber jetzt das Foramen mastoïdeum auf, um an dem hier hervortretenden Facialis eine Richtschnur zu haben. Von hier aus verfolgte ich, mit feinem Meissel und Hammer vorsichtig vorgehend, den Facialis bis zur Gegend des Ganglion geniculi. Man kann diese Stelle erkennen aus der Richtung, welche der Facialis von hier aus einschlägt. Die Operation gelingt auf diese Weise sicherer, nimmt aber auch so eine Zeit von gut 1½ Stunde in Anspruch. Nach der so ausgeführten Operation, bei

der eine Lädirung des Facialis nicht stattgefunden hatte, war die Reizung des Nerven in der Gegend seines Ganglion gleich von Erfolg gekrönt. Wie beim ersten Versuch am Affen bildete sich bald nach der Reizung eine Thräne im gleichnamigen Auge, während das andere trocken blieb. Eine zweite Thräne war wieder nicht zu erzielen, wohl aber befeuchtete sich der eingelegte Fliesspapierstreifen viel rascher auf der gereizten Seite als auf der anderen.

Um ganz sicher zu sein, dass die secretorischen Fasern vom Ganglion geniculi aus abzweigten, durchschnitt ich peripher von diesem den Facialis. Die Vermehrung der Thränensecretion blieb bei Reizung trotzdem bestehen.

Nachdem ich mich von dem Erfolg der Reizung überzeugt hatte, tödtete ich den Affen und bewies mir durch die Section, dass ich sicher die Gegend des Ganglion geniculi gereizt hatte.

Aus diesen letzten Versuchen ergab sich also, dass wie beim Kaninchen so auch beim Affen im Facialisstamm secretorische Fasern für die Thränendrüse verlaufen und denselben im Ganglion geniculi verlassen.

Während beim Kaninchen die Vermehrung der Thränensecretion eine dem Auge deutlich sichtbare ist und bei jeder erneuten Reizung wieder direct sichtbar auftritt, ist dieselbe beim Affen entschieden geringer. Eine deutliche Thräne bildet sich nur bei der ersten Reizung. Die weitere Zunahme der Thränensecretion nach wiederholter Reizung kann nur durch Zuhülfenahme eines Streifens Fliesspapier erkannt werden. Es scheint, dass die Thränendrüse beim Affen sich rascher verausgabt als die auch viel voluminöseren Thränendrüsen beim Kaninchen.

Auch beim Affen wurde wie beim Kaninchen eine abundante Vermehrung der Speichelsecretion beobachtet.

Kaninchen wie Affen ertrugen die Aethernarkose gut und erholten sich bald nach der Operation, wenn sie nicht getödtet wurden.

Wenn wir nun auch erfahren haben, dass im Facialisstamm thränensecretorische Fasern verlaufen, so ist doch noch immer die Frage nicht beantwortet, wo diese Fasern herkommen, wo ihre Ursprungsstätte liegt. Es wäre ja möglich, dass der Facialis nur ein kurzes Stück Weges die Fasern führe, dass sie ihm erst zugeleitet werden durch die zahlreichen Anastomosen, die den Facialis central vom Ganglion geniculi mit anderen Nerven verbinden, dem Acusticus

und Glossopharyngeus. Gerade letzterer Nerv ist es, auf den man sein Augenmerk zu richten hat; verlaufen doch in ihm auch Fasern, die die Parotis, die Glandulae molares, labiales und buccales, die acinösen Drüsen in den Papillarspalten der Papillae foliatae der Zunge innerviren. In den Bahnen des Glossopharyngeus, Facialis, Trigeminus würden dann die Fasern verlaufen, die die Thränendrüse zur Secretion bringen; wo aber der Kern für diese Fasern liegt, bliebe auch dann noch zu erforschen.

(Aus dem Institut für experimentelle Pharmakologie der Universität Lemberg.
Director Professor Dr. W. v. Sobierański †.)

Weitere Beiträge zur Nierenfunction.

Ueber das Verhalten der Granula in der Niere unter dem Einfluss der verschiedenen Diuretica.

Von

Dr. **Georg Modrakowski**, Assistenten des Instituts.

(Hierzu Tafel IV.)

Auf dem grossen Gebiete des Studiums der drüsigen Organe nimmt die Niere eine besondere Stellung ein. Trotz zahlreicher Arbeiten besteht noch keine einheitliche Ansicht über das Wesen ihrer Function. Daher dürfte die Untersuchung jeder einzelnen der vielen Fragen, die sich an die Erforschung dieses Organes knüpfen, erwünscht sein. In diesem Sinne studirte ich das Verhalten der Granula während der Urinsecretion und hoffe mit der Veröffentlichung meiner Resultate einen Beitrag zur Aufklärung der Nierenfunction liefern zu können.

Mit dem speciellen Studium dieser Bildungen beschäftigte sich bekanntlich R. Altmann, der in seinem Werke: „Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu den Zellen" besondere Methoden zur Fixirung und Färbung der Granula angab und die Veränderungen beschrieb, die seiner Meinung nach mit denselben während der Thätigkeit der einzelnen Organe vor sich gingen. — Für meine Zwecke brauche ich nicht auf die Berechtigung der von Altmann aufgestellten Ansichten, inwieweit die Granula an den biologischen Veränderungen der Organe betheiligt sind, einzugehen, sondern kann mich gleich zu meinem Thema: der Niere, wenden.

Altmann selbst hat seine Methode schon auf die Niere angewandt, indem er betont, dass dieselbe gleich einer Reihe von anderen Drüsen ebenfalls als Beispiel für die „granuläre Secretion"

herangezogen werden könne. Er beobachtete zunächst[1]) bei der Urniere des dreizehntägigen Hühnchens, „dass die Zellen grössere kugelige Gebilde ausstossen, welche zum Theil noch specifische Granula enthalten, und dass dieses auch trotz der Gegenwart des epithelialen Bürstenbesatzes geschieht". Da er in der Niere der Maus ähnliche Erscheinungen ohne Weiteres nicht nachweisen konnte, glaubte er, das enge Lumen wäre daran schuld. Desshalb unterband er an Hunden die Ureteren und fixirte erst eine bis drei Stunden danach die Nierenstücke mit seinem Chrom-Osmiumsäure-Gemisch. Dabei fand er nun im erweiterten Lumen die in der Urniere beobachteten Bilder wieder und sagt wörtlich: „Offenbar wurde nach Erweiterung der Kanälchen lumina durch die Unterbindung erst der Raum geschaffen, damit jene aus den Zellen kommenden kugligen Gebilde sich von einander im optischen Bilde abheben könnten."

In solchen Bildern glaubt Altmann einen Beweis für die secretorische Thätigkeit der Epithelzellen der gewundenen Harncanälchen im Sinne Bowman-Heidenhain's sehen zu dürfen, die sich äussern sollte, indem die Granula aus den Zellen in's Lumen austreten und sich in Secret umwandeln.

Aehnliche Gebilde an pathologischen Nieren hat Lorenz[2]) beobachtet und erklärte sie für abgestossene Zellpartikel. Gleichfalls mit dem Verhalten der Granula in pathologischen Nieren beschäftigte sich O. Israel[3]).

Dabei fand er neben anderen Veränderungen krankhafter Natur die regelmässige Anordnung der Granula gestört, die in normalen Nieren „exquisit in Reihen angeordnet" seien. Die gleiche Ansicht spricht Trambusti[4]) aus. Nach diesem Autor ist die reihenförmige Anordnung der Granula in den Epithelzellen der Tubuli contorti charakteristisch für die normale Niere, während zerstreute Lagerung derselben sich nur in pathologischen Organen fände. Rothstein[5])

---

1) R. Altmann, Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu den Zellen. II. Aufl. S. 133. Leipzig 1894.

2) Untersuch. über den Bürstensaum an norm. u. path. Nieren. Zeitschr. f. klin. Medicin Bd. 15. 1889.

3) Die anämische Nekrose der Nierenepithelien. Virchow's Archiv für pathol. Anat. Bd. 123. 1891.

4) Le mécanisme de sécrétion et de l'excrétion des cellules rénales en conditions norm. et pathol. Arch. de Biologie t. 30.

5) Vorl. Mittheilung. Biologiska förhandlingar Bd. 1.

hebt in gleicher Weise die reihenförmige Aufstellung der Körnchen in den Zellen der Tubuli contorti hervor. Da sie ihm den Eindruck machen, als wären sie an Fäden aufgereiht, so bezeichnet er sie als „Kugelfäden".

Weniger mit der morphologischen als mit der physiologischen Seite der Granula in den „secretorischen" Abschnitten der Nierencanälchen beschäftigte sich Schmidt[1]). Auf Grund der bei der Karminausscheidung beobachteten Bilder, namentlich bei Fröschen, glaubt er die Ansicht aufstellen zu dürfen, dass die Altmann-schen Granula bei der Karminsecretion durch die Tubuli contorti in hervorragender Weise betheiligt seien.

Ferner wurden die Granula häufig in Beziehung zu den Vacuolen gebracht, — Niclas[2]), Noll[3]) u. A. —, und diese als Kunstproducte angesprochen, die entständen, indem die Granula herausfielen. Weiter geht Trambusti[4]), der behauptet, dass die Zellgranula sich physiologisch bei der Nierenthätigkeit in Vacuolen umwandelten und bei ihrem Austritt aus den Zellen das darstellten, was alle anderen Autoren als den Bürstenbesatz beschreiben und ansehen.

Eine ganz hervorragende und eigenthümliche Rolle jedoch vindicirt den Vacuolen die neueste auf diesem Gebiete erschienene Arbeit von Gurwitsch[5]). Wie er dieselben mit den Granulis in Relation bringt, bleibt etwas unklar. Seine Untersuchungen sind an Fröschen ausgeführt, wobei er die Ausscheidungsvorgänge verschiedener injicirter Farbstoffe verfolgte. Die von ihm beobachteten „zahlreichen, grossen Vacuolen und theilweise Granula sind Condensatoren oder Collectoren", die die Aufgabe haben sollten, sich mit Harnstoff u. s. w. aus dem Blute zu beladen, ihn anzuhäufen und dann durch die Zellen der gewundenen Harncanälchen nach dem Lumen derselben zu transportiren. Die Vacuolen und Granula sind

1) Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. 48.

2) Contribution à l'étude des cellules glandulaires. Arch. de Physiologie norm. et pathol. avril 1892.

3) Morpholog. Veränderungen der Thränendrüse bei der Secretion. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 58 S. 3.

4) l. c.

5) Zur Physiologie u. Morphologie der Nierenthätigkeit. Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. 21 S. 71. 1902.

nach ihm „keine blosse Secretanhäufung, sondern echte Organe, welche die wichtige Aufgabe der Elimination der Farbstoffe“ aus dem Blute erfüllen. Die mit letzteren gewonnenen Bilder glaubt Gurwitsch mittelst theoretischer Erwägungen auf die Ausscheidung der sogenannten harnfähigen Substanzen übertragen zu dürfen, ohne diese Meinung thatsächlich tiefer als auf Grund einfacher Analogie begründen zu können.

Aus der vorstehenden Uebersicht ersehen wir, dass der Gedanke von der Betheiligung der Granula und Vacuolen an der Nierensecretion die Literatur nie verlässt. Viele Autoren gehen sogar so weit, eine directe Umwandlung derselben in Secret anzunehmen. Aber Niemand suchte nach materiellen Beweisen, ob eine solche Umwandlung möglich sei, vielmehr deutete man alle mehr oder weniger dazu geeigneten mikroskopischen Bilder als Ausscheidungsvorgänge.

Falls dieselben in der That stattfänden, so wäre anzunehmen, dass sie bei erhöhter Diurese besonders deutlich und vielfältig auftreten müssten. Desshalb erschien es zweckmässig, das Verhalten der Granula und Vacuolen in der Niere nach Einwirkung der verschiedenen Diuretica zu untersuchen. Bevor ich zur Beschreibung der erhaltenen Resultate übergehe, schicke ich die Art meines Experimentirens voraus.

Ich habe meine Versuche grösstentheils an Kaninchen angestellt, seltener an Hunden, da erstere, wie bekannt, besonders leicht auf Diuretica reagiren. Um ein gleichmässiges Material vorzustellen, veröffentliche ich jedoch in dieser Arbeit nur die an Kaninchen gewonnenen Bilder. Die Versuchsthiere wurden in ähnlicher Weise behandelt, wie das v. Sobierański in seiner früheren Arbeit beschrieben hat. Das Thier wurde durch eine seinem Gewicht entsprechende Dosis von Chloralhydrat narkotisirt, sodann nach Eröffnung der Bauchhöhle in der Linea alba die Blase vorgezogen und entleert. Darauf wurden in die Ureteren Glascanülen eingeführt und der austropfende Urin in Portionen von je zehn Minuten gesammelt und gewogen. Nachdem so die normal secernirte Urinmenge bestimmt war, wurde gewöhnlich in die linke Vena jugularis eine auf Körpertemperatur erwärmte Lösung des anzuwendenden Diureticums injicirt. Auf dem Höhepunkte der Diurese wurden dann möglichst rasch der noch lebensfrischen Niere kleine Stücke entnommen und sofort in das Altmann'sche Gemisch —

gleiche Theile von 5 %iger Kaliumbichromat- und 2 %iger Osmiumsäurelösung — gebracht. Nach 24 Stunden wurden die Stückchen in fliessendem Wasser ausgewaschen, später in 75 %igem, dann 90 %igem und 100 %igem Alkohol übertragen und darauf nach dem Uebergange durch die üblichen Alkoholxylolmischungen in Paraffin eingebettet. Dünne Schnitte von 1—3 μ wurden auf dem Objectträger aufgeklebt, vom Paraffin durch Xylol befreit und nach Nachspülung mit Alkohol nach der Altmann'schen Vorschrift gefärbt. Jedoch musste das Zeitverhältniss der Färbung mit Säurefuchsin einerseits und der Differenzirung mit Pikrinsäure andererseits nach Maassgabe des angewandten Diureticums modificirt werden. Im Allgemeinen erforderten die unter dem Einfluss von Diureticis stehenden Nieren eine längere Einwirkung des Säurefuchsins und eine kürzere der Pikrinsäure, als Altmann angibt.

Beginnen wir mit der Salzdiurese, da diese am meisten charakteristische Bilder gibt. Vor Allem ist hierbei hervorzuheben, dass unter der Salzwirkung die Lumina der gewundenen Harncanälchen sich stark erweitern [v. Sobierański[1])]. Es wäre also zu erwarten, dass, wenn die die rundlichen Granula umschliessenden Gebilde Altmann's sich fänden, sie hierbei in dem erweiterten Lumen besonders deutlich sichtbar sein müssten. — Das folgende Protokoll illustrirt zunächst den Verlauf eines mit Natrium nitricum angestellten Experimentes.

(Siehe den Versuch auf S. 222.)

Um so interessanter ist der mikroskopische Befund. Die Granulafärbung gelingt ziemlich leicht, nur darf die Pikrinsäure nicht zu lange einwirken, da die Präparate verhältnissmässig rasch abblassen.

Die Lumina der gewundenen Harncanälchen sind, wie bereits erwähnt, weit und so gut wie immer vollkommen frei von „ausgeschiedenen Massen", die Zellen entsprechend niedrig. Der Bürstensaum ist hoch und trotz der für seine Darstellung nicht geeigneten Fixirung mit dem Chrom-Osmiumsäure-Gemisch deutlich als solcher zu erkennen, wenn auch seine haarförmige Structur nicht mit voller Schärfe hervortritt, da die Altmann'sche Flüssigkeit auf dieses zarte Gebilde unvortheilhaft einwirkt. Die feine punktirte Linie, die den Bürstenbesatz von der eigentlichen Zelle abtrennt, ist meist

1) Weitere Beiträge zur Nierenfunction u. Wirkungsweise der Diuretica. Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. 98 S. 135. 1903.

Natrium nitricum. 22. August 1902.

Männliches Kaninchen von 2200 g Gewicht. Seit 4 Tagen vor dem Experiment mit rothen Rüben gefüttert.

Zeit	Harnmenge in 10′ in g	Steigerung der Harnmenge. Die Norm = 1	Bemerkungen
7h 30′	—	—	Das Thier erhält 1,3 g Chloralhydrat in 25 ccm Wasser in den Magen.
9h 10′	—	—	Unterbindung der Ureteren.
9h 30′	—	—	Einführung der Ureterencanülen.
9h 40′ — 9h 50′	1,00	} 0,85 = 1,0	
9h 50′ — 10h 00′	0,70		
10h 00′ — 10h 10′	32,00	1 : 37,647	Von 10 Uhr ab bis zum Ende des Experimentes werden dem Thiere 35 ccm einer 5%igen Lösung von Natrium nitricum in die linke Vena jugularis injicirt.
10h 10′	—	—	Section des Thieres und sofortige Fixirung von Nierenstückchen in Altmann's u. Sobierański's Flüssigkeit.

Makroskopisch erscheint die Niere etwas blass, unterscheidet sich aber sonst in keiner Weise von der normalen.

distinct gezeichnet, der unmittelbar anschliessende, also dem Lumen genäherte Zelltheil ist gleichmässig gelb gefärbt und schliesst keine specifischen Structurelemente ein. Dann folgen in den äusseren, nach der Basis zu gelegenen zwei Dritteln der Zellen die Granula und die grossen blasigen Kerne, die ungefähr in gleicher Höhe innerhalb der Zellen stehen. Die Granula sind in durchaus charakteristischer Weise in regelmässigen Reihen aufgestellt, so dass sie förmliche Stäbe bilden, welche unter einander parallel und radiär zu der Mitte der Harncanälchen angeordnet sind. Die Körnchen sind ungefähr kugelig, von gleicher Grösse und gleichmässig roth violetter Färbung. Vacuolen, die so oft in den nach Altmann behandelten Präparaten auftreten, sind nicht sichtbar. Nur selten sind anscheinend Andeutungen derselben erkennbar.

Demgegenüber zeigen von der Coffeïndiurese herstammende Bilder ein durchaus anderes Verhalten. Das nachstehende Protokoll stellt zunächst den Hergang eines derartigen Versuches am Thier dar.

Coffeïnum natrio-benzoicum. 8. Januar 1900.

Männliches Kaninchen von 3200 g Gewicht.

Zeit	Harnmenge in 10′ in g	Steigerung der Harnmenge. Norm = 1	Bemerkungen
9h 45′	—	—	Das Thier erhält 1,75 g Chloralhydrat in 30 ccm Wasser gelöst mit der Sonde in den Magen.
11h 30′	—	—	Unterbindung der Ureteren.
12h 00′	—	—	Einführen der Ureterencanülen.
12h 10′ — 12h 20′	0,90	0,68 = 1	
12h 20′ — 12h 30′	1,12		
12h 30′ — 12h 40′	0,17		
12h 40′ — 12h 50′	0,13		
12h 50′ — 1h 00′	1,08		
1h 00′ — 1h 10′	9,066	13,33	Von 1 Uhr ab bis zum Ende des Experimentes werden in die linke Vena jugularis 33 ccm einer 1/2 %oigen Lösung von Coff. natrio.-benz. injicirt.
1h 10′ — 1h 20′	12,35	18,66	
1h 20′	—	—	Section des Thieres. Schnelle Fixirung kleiner Nierenstückchen in den früher genannten Flüssigkeiten.

Das makroskopische Aussehen der Niere entspricht dem normalen.

Was das mikroskopische Verhalten der Schnitte betrifft, so fällt schon bei der Färbung auf, dass die Granula das Säurefuchsin nur schwierig aufnehmen und unter der Pikrinsäureeinwirkung ungemein rasch wieder abgeben. In Folge dessen muss man längere Zeit in der Wärme mit Fuchsin färben und dann nur kurze Zeit differenziren. Unter dem Mikroskop zeigen sich mehr oder minder deutliche Unterschiede in der Grösse der Granula. Die Aufordnung in Reihen findet sich nur selten und an beschränkten Stellen. Dort finden wir aber auch das Lumen der gewundenen Harncanälchen weiter und den Bürstenbesatz etwas deutlicher markirt. Dies ist jedoch nicht der charakteristische Ausdruck der Coffeïnwirkung. Dieselbe äussert sich im Gegentheil auf die Granula in der Weise, dass ihre regelmässige fadenförmige Aufstellung vernichtet wird. Im Allgemeinen finden wir daher auch bei den Coffeïnexperimenten die Granula im Zellprotoplasma zerstreut ohne Regelmässigkeit in ihrer Anordnung. Dieses Verhalten geht Hand in Hand mit der Zellquellung, die durch das Coffeïn hervorgerufen wird (Sobieranski).

Demgemäss kommen enges Lumen der gewundenen Canälchen, Quellung der Zellen, Verschwommensein oder vollständiges Fehlen des Bürstenbesatzes stets zusammen vor. Die Zellkerne verlassen häufig ihre Lage und entfernen sich vom Basaltheile der Zellen. Ebenso erstrecken sich die Granula weiter nach dem Lumen zu. Der Rand der Zellen ist häufig unregelmässig gezackt und gebuchtet. An manchen Stellen wölben sich gelbliche, Granula führende Massen vor in ähnlicher Weise, wie das Altmann beschrieben hat. Es sei jedoch gleich hier hervorgehoben, dass man diese Bildungen an den Rändern der Schnitte so gut wie nie findet, sondern fast nur in den mittleren Theilen der Präparate. Wir sehen also, dass beim Coffeïn eine weitgehende Verschiedenheit der Bilder zu Stande kommt, wie das ja auf Grund der Untersuchungen Sobierański's nicht anders zu erwarten war, da diese Diurese nach dem genannten Autor nicht allein vom Coffeïn, sondern auch von den übrigen Urinbestandtheilen, namentlich dem Harnstoff und den Salzen, beeinflusst wird. Wenn das Versuchsthier reichlich Salze zur Ausscheidung gelangen lässt, kann es sogar eintreten, dass trotz der Coffeïnwirkung die mikroskopischen Bilder sich erheblich dem Typus der Salzdiurese nähern, ohne jedoch die ausgeprägte Form derselben zu erreichen. —

Auffallend ist bei der Coffeïndiurese ferner das reichliche Auftreten von mehr oder minder deutlichen Vacuolen, die sich stets in charakteristischer Weise am freien Ende der Zellen unter der feinen Linie, welche den Bürstenraum vom Zellleib scheidet, befinden. Dabei ist beachtenswerth, dass die Vacuolen auch in solchen Zellen auftreten können, die den Bürstenbesatz verhältnissmässig deutlich erhalten und die Granula in Reihen angeordnet zeigen.

Jedoch unterscheiden sich diese von den Zellen der Salzdiurese durch ihre Höhe, die stets augenfällig bedeutender ist als bei dem charakteristischen, niedrigen, unter exquisiter Salzwirkung stehendem Epithel.

Zur Harnstoffdiurese übergehend, muss ich vorausschicken, dass Kaninchen im Gegensatz zu Hunden bekanntlich nur schwer und häufig gar nicht auf dieses Diureticum reagiren. Das beifolgende Protokoll stammt von einem Versuch, bei dem es mir gelang, eine genügende Diurese zu erzeugen.

Harnstoff. 22. September 1902.

Männliches Kaninchen von 2170 g Gewicht.

Zeit	Harnmenge in 10′ in g	Steigerung der Harnmenge. Norm = 1	Bemerkungen
12h 00′	—	—	Das Thier erhält 0,75 g Chloralhydrat in 40 ccm Wasser gelöst in den Magen.
1h 45′	—	—	Unterbindung der Ureteren.
2h 00′	—	—	Einführen der Ureterencanülen.
2h 05′ — 2h 15′	0,85	0,85 = 1	Von 2h 15′ bis zum Ende des Experimentes langsame, gleichmässige Injection von 63 ccm 5% iger Harnstofflösung in die linke Vena jugularis.
2h 15′ — 2h 25′	1,077	1,267	
2h 25′ — 2h 35′	1,409	1,657	
2h 35′ — 2h 45′	2,221	2,6141	
2h 45′ — 2h 55′	3,030	3,564	
2h 55′ — 3h 05′	4,230	4,976	
3h 05′ — 3h 15′	5,750	6,764	Section des Thieres.
3h 15′	—	—	Rasche Fixirung kleiner Nierenstückchen in Altmann's und Sobierański's Flüssigkeit.

Makroskopisches Aussehen der Niere normal.

Die mikroskopischen Bilder entsprechen der Mittelstellung zwischen Salz- und Coffeïndiurese, die der Harnstoff nach den Untersuchungen von Sobierański einnimmt. Vielfach tritt eine Annäherung an den Typus der Salzwirkung deutlich hervor, an anderen Stellen ist wiederum die Zellquellung mehr oder minder ausgeprägt.

Dementsprechend äussert sich auch das Verhalten der Granula. Rücksichtlich der Färbungstechnik sei erwähnt, dass diese hierbei ungefähr den von Altmann aufgestellten Regeln entspricht. Die erzielten Farbentöne entsprechen bei dieser Diurese am meisten denen, die man mit Altmann'scher Färbung in normalen, nicht mit specifischen Mitteln behandelten Geweben erhält. Auffallend ist jedoch die sehr erhebliche Grössenschwankung der Körnchen, die so stark ist, dass einzelne das Mehrfache der gewöhnlichen Grösse erreichen. Rücksichtlich ihrer Anordnung haben die Granula im Allgemeinen das Bestreben, sich in Reihen aufzustellen. Dasselbe äussert sich am deutlichsten an den Stellen, die sich dem Salztypus am meisten nähern, wo also das Epithel niedrig, der Bürstenbesatz relativ hoch und ausgeprägt und das Lumen weit ist. In

diesen Partien ist auch die Grössenschwankung der Granula weniger ausgeprägt. Dieselbe tritt besonders dort hervor, wo die Zellquellung mehr ausgesprochen und die Lagerung der Granula unregelmässig ist. Dort finden sich auch die bei der Harnstoffdiurese meist reichlich auftretenden Vacuolen am schönsten ausgebildet. Sie zeigen dieselbe Lagerung unter dem Bürstensaume, wie beim Coffeïn beschrieben wurde.

Schliesslich habe ich noch das Verhalten der Granula in Nieren untersucht, die mittelst Durchspülung von grossen Mengen physiologischer Kochsalzlösung möglichst salzarm gemacht waren. Zu dem Zweck injicirte ich das 2—4 fache der Blutmenge des Thieres einer auf Körperwärme gebrachten 0,6 %igen Kochsalzlösung in die Vena jugularis und tödtete das Thier wie bei den übrigen Experimenten auf der Höhe der Diurese. Das folgende Protokoll ergibt alle Einzelheiten.

Physiologische Kochsalzlösung. 19. September 1902.

Männliches Kaninchen von 2900 g Gewicht.

Zeit	Harnmenge in 10′ in g	Steigerung der Harnmenge. Norm = 1.	Bemerkungen
10h 45′	—	—	Das Thier bekommt 1,25 g Chloralhydrat in 35 ccm Wasser gelöst in den Magen.
12h 20′	—	—	Unterbindung der Ureteren.
12h 30′	—	—	Einführen der Ureterencanülen.
12h 32′ — 12h 42′	0,955		
12h 42′ — 12h 52′		0,3925 = 1	
12h 52′ — 1h 02′	0,330		
1h 02′ — 1h 12′	0,285		Von 1h 12′ bis zum Ende des Versuches werden dem Thiere in die linke Vena jugularis 455 ccm auf 38° erwärmter physiologischer Kochsalzlösung injicirt.
1h 12′ — 1h 22′	0,200	0,509	
1h 22′ — 1h 32′	0,190	0,484	
1h 32′ — 1h 42′	0,270	0,687	
1h 42′ — 1h 52′	0,230	0,586	
1h 52′ — 2h 02′	1,050	1,337	
2h 02′ — 2h 12′		1,337	
2h 12′ — 2h 22′	1,170	2,979	
2h 22′ — 2h 32′	0,885	2,254	
2h 32′ — 2h 42′	1,782	2,270	
2h 42′ — 2h 52′		2,270	
2h 52′ — 3h 02′	3,964	5,049	
3h 02′ — 3h 12′		5,049	
3h 12′ — 3h 22′	8,220	10,470	
3h 22′ — 3h 32′		10,470	
3h 32′ — 3h 42′	3,628	9,247	
3h 42′	—	—	Section des Thieres. Fixirung kleiner Stückchen in den angegebenen Flüssigkeiten.

Makroskopisch erscheint die Niere etwas vergrössert, blass und livid.

Mikroskopisch zeigen die Nierenstückchen eine hochgradige Quellung des Epithels der Tubuli contorti. Die Zelllumina sind zu feinen Spalten reducirt, die Kerne häufig von den Basen der Zellen nach dem Lumen zu verschoben, der Bürstenbesatz unkenntlich. Die Altmann'sche Granulafärbung gestaltete sich insofern sehr interessant, als die Zeitverhältnisse sich direct umgekehrt verhielten, wie bei den übrigen Experimenten, insbesondere den mit Coffeïn ausgeführten. Es erwies sich als nothwendig, nur ganz kurze Zeit mit Säurefuchsin zu färben, um dann kräftig mit Pikrinsäure zu differenziren. Bei nur etwas längerer Einwirkung des Fuchsins ist die nachfolgende Entfärbung und Differenzirung mit Pikrinsäure nicht mehr möglich. So gierig und nachhaltig imbibiren die durch die grossen injicirten Flüssigkeitsmengen ausgelaugten Zellen den dargebotenen Farbstoff. Andererseits haben die Granula die Fähigkeit verloren, sich intensiv zu färben, und nehmen nur einen blassröthlichen Farbenton an, diesen aber, wie gesagt, ausserordentlich nachhaltig. Die Anordnung der Granula ist naturgemäss der weitgehenden Zellquellung entsprechend unregelmässig und zerstreut. Die Hauptmasse derselben hat sich in den basalen Zelltheilen erhalten. Vereinzelt ziehen sich die Granula aber auch mehr nach den Lumen hin. Vacuolen finden sich ebenfalls wie bei der Coffeïn- und Harnstoffdiurese in den centralen Zellabschnitten.

Vergleichen wir nun diese Befunde an Nieren, die in der beschriebenen Weise durch specifische Mittel zu erhöhter Diurese angeregt waren, mit normalen Organen, so ergibt sich, dass sie gleichsam extrem einen Theil der normalen Function zum Ausdruck bringen. Auch in der normalen Niere findet man häufiger oder seltener — je nach dem Salzgehalt des Urins (Sobierański) — Stellen, wo die Lumina der gewundenen Harncanälchen weit, die Zellen niedrig, der Bürstenbesatz deutlich und, was uns hier besonders interessirt, die Granula in den charakteristischen Reihen angeordnet sind. Daneben finden wir andere Stellen mit gequollenen Epithelien und zerstreuten Granulis, hier und da bei Anwendung der Altmann'schen Fixirungsflüssigkeit auch Vacuolen. Zwischen den beiden eben beschriebenen Typen finden sich natürlich alle nur denkbaren Uebergänge.

Demgemäss kann ich der von Israel, Trambusti u. A. aufgestellten Behauptung, dass nur die reihenförmige Anordnung der Granula als die normale anzusehen sei, nicht beipflichten.

Was die von Altmann beschriebene Ausscheidung gelber, die Granula einschliessender Massen betrifft, so dürften zwei Momente zur Erklärung derartiger Bilder heranzuziehen sein: einerseits die Wirkung des Chrom-Osmiumsäure-Gemisches, andererseits die Schnittlegung in Beziehung zu den Windungen der Canälchen. Die Altmann'sche Flüssigkeit dringt nur langsam und ungleichmässig in die zu fixirenden Organstückchen ein. Das ist schon oftmals constatirt worden, in jüngster Zeit wiederum von Noll[1]). Wenn man nach Altmann behandelte Schnitte unter dem Mikroskop betrachtet, so ist es ganz auffallend, welcher Unterschied zwischen den mittleren und den Randpartien besteht. Während die letzteren scharf und klar in ihren Contouren erhalten sind, erscheinen die mittleren Theile der Schnitte unregelmässig und verschwommen fixirt. Demgemäss findet man auch die scheinbaren Ausscheidungsvorgänge vor Allem in den inneren Theilen der Schnitte und häufiger bei der Coffeïndiurese, wo die Zellen an und für sich gequollen erscheinen. Desshalb treten solche Bilder bei exacteren Fixirungsmitteln, z. B. bei der zur Controle angewandten Flüssigkeit von Sobierański, so gut wie nie auf. Das zweite Moment ist in gewissen Fällen ebenfalls von Bedeutung. Die durch das Chrom-Osmiumsäure-Gemisch unregelmässig fixirten Zellen der Tubuli contorti ragen mit mehr oder minder ausgedehnten und häufigen Ausläufern in die Canallumina vor, am meisten bei der Coffeïndiurese, wie bereits betont. Geht nun der Schnitt gerade durch eine Umbiegungsstelle eines Canälchens, so kommen die Ausbuchtungen der gegenüberliegenden Zellen leicht mit in die Schnittebene, und dann häufen sich im Lumen jene gelben, Granula führenden Bildungen an, manchmal in scheinbarem Zusammenhange mit den auskleidenden Zellen, manchmal freiliegend, während die ringsherum befindlichen Epithelien unversehrte Ränder zeigen. Dass dem so ist, davon kann man sich leicht an Serien-Schnitten überzeugen.

Die von früheren Autoren, in erster Linie von Altmann, beobachteten Ausscheidungsvorgänge beruhen also jedenfalls zum grössten Theil auf der mangelhaften Constitution der Fixirungsmittel und ungenügender Berücksichtigung der mikroskopischen Topographie der Tubuli contorti. Damit soll nicht gesagt sein, dass nicht ab und zu auch solche Bilder durch Zellzerfall und Regeneration erzeugt

1) l. c.

werden können, wobei dann ihrerseits die Granula eine wichtige Rolle spielen mögen. Jedenfalls ist es aber nicht statthaft, jede sichtbare Veränderung an den Körnchen in den Zellen der gewundenen Harncanälchen ohne Weiteres im Sinne einer Ausscheidung aufzufassen. — Ganz willkürlich erscheint weiterhin die Behauptung Trambusti's, dass die Granula sich in Vacuolen umwandelten, wofür er gar keine Beweise angibt. Ebenso unhaltbar sind die von Gurwitsch vertretenen Anschauungen. Hier bleibt zunächst die Frage offen, inwieweit die von ihm angewandte Farbentechnik und die injicirten Farbstoffe ihrerseits Vacuolen produciren, da wir wissen, dass den Lupetidinen, dem Ammoniak und wahrscheinlich noch vielen anderen Stoffen die Fähigkeit zukommt, Vacuolen in den lebenden Zellen zu erzeugen. Ferner beobachtet man doch nicht unter normalen Verhältnissen das Auftreten von Vacuolen in den Nierenzellen so allgemein, wie Gurwitsch das darstellt. Ferner fand ich dieselben niemals durch die ganze Zelle vertheilt, sondern immer nur, wie bereits hervorgehoben, in dem nach dem Lumen zu gelegenen Zelltheile. — Jedoch schon gar nicht mit der secretorischen Bedeutung der Granulae und Vacuolen vereinbar sind die Befunde bei Salzdiurese, wo die letzteren so gut wie nie vorkommen und die ersteren streng auf die basalen zwei Drittel der Zellen beschränkt sind. Erwägen wir ferner, dass bei der Salzdiurese ebenso wie bei der Coffeïn- und Harnstoffdiurese nicht nur die Harnfluth vermehrt ist, sondern auch der Gehalt des Urins an harnfähigen Substanzen, so müssten wir hier überall die Secretionsvorgänge seitens der Granula und Vacuolen gerade recht zahlreich finden. Demgemäss müssten wir ein wenigstens in grossen Zügen gleichartiges Bild bei den verschiedenen Diuresen haben.

Dem entgegen haben wir gesehen, dass jeder Diurese ein besonderes charakteristisches Verhalten der Zellen mit ihren Granula und Vacuolen entspricht, ein Verhalten, das in keiner Weise Anhaltspunkte dafür gibt, dass diese Bildungen in Secret übergingen oder als Condensatoren im Sinne von Gurwitsch wirkten. — Wenn dieser Autor den Vacuolen eine Rolle zuschreibt, die sie sicherlich nicht haben, so scheint andererseits die Behauptung, dass dieselben nichts Anderes als herausgefallene Granula seien, ebenfalls nicht gerechtfertigt. Vor Allem befinden sich die Körnchen und Vacuolen im Princip in verschiedenen Zelltheilen. Erstere nehmen die äusseren zwei Drittel der Zellen ein, während letztere

sich in dem inneren, nach dem Lumen zu gelegenen Drittel befinden, unmittelbar unter dem den Bürstenbesatz von den Zellen scheidenden Saume, worin ich mit Trambusti übereinstimme. Ein Abweichen von diesem Verhalten habe ich nie constatiren können. Ferner wäre es doch merkwürdig, warum die Granula nur bei der Coffeïn- und Harnstoffdiurese herausfallen sollten, während sie bei der Salzdiurese fest an ihren Plätzen haften. Offenbar ist also eine andere Erklärung für die Vacuolenbildung von Nöthen. Mit einiger Wahrscheinlichkeit lässt sich annehmen, dass sie in irgend welchem Zusammenhange mit der Zellquellung stehen; denn nur dabei konnte ich sie beobachten. Bei der Salzdiurese fehlten ausgebildete Vacuolen stets; in seltenen Fällen konnte man jedoch ihre Spur vermuthen, indem punktförmige helle Stellen dort, wo in anderen Fällen Vacuolen aufzutreten pflegen, zu sehen waren. Andererseits ist nicht zu vergessen, dass die verwandten Fixirungsflüssigkeiten, wie schon oft und von vielen Autoren constatirt worden ist, einen hervorragenden Einfluss auf die Vacuolenbildung haben. Auch ich beobachtete das Auftreten derselben in erster Linie bei dem Altmann'schen Chrom-Osmiumsäure-Gemisch, während andere Fixirungsflüssigkeiten die Vacuolisirung in viel geringerem Maasse zu Stande kommen liessen.

Eine viel bedeutendere Rolle als den Vacuolen kommt jedenfalls bei der Nierenfunction den Granulis zu. Allerdings kann von einer Umwandlung derselben in Secret nach den vorliegenden Untersuchungen keine Rede sein, aber in der Form, Grösse, Färbung und Anordnung der Granula finden die verschiedenen Arten der Diurese einen charakteristischen Ausdruck. Wenn die Zellen der Tubuli contorti unter dem Einfluss der wasserentziehenden Wirkung von Salzen sich contrahiren, so stellen die Granula sich in Reihen auf und sind exact abgegrenzt von dem granulafreien, nach dem Lumen zu gelegenen Zelltheil. Der Verkleinerung der ganzen Zellen entspricht auch ihre gleichmässige kugelige Gestalt und durchgehends gleiche Grösse. Anders, wenn die Epithelien der Tubuli contorti in den Quellungszustand eintreten; dann werden die Granula durch die Zunahme des Zellleibes von einander entfernt, und ihre Vertheilung wird regellos in ungleichmässigen Abständen. Sie selbst nehmen an der Vergrösserung des Zellleibes Theil, und zwar in verschiedenem Grade. So erhalten wir die Unterschiede in der Grösse der einzelnen Granula. Diese Ungleichmässigkeit der Grösse tritt am deutlichsten

bei der Harnstoffdiurese auf und scheint für dieselbe charakteristisch zu sein.

In der Gesammtauffassung der Granula als typische Bestandtheile der Zellen der Tubuli contorti in der Niere glaube ich der von Rothstein gegebenen Anschauung, dass dieselben an Fäden aufgereiht erscheinen, entsprechend den Heidenhain'schen Stäbchen, beipflichten zu dürfen.

Auf die Frage, inwieweit die Altmann'schen Granula den natürlichen entsprechen, bin ich nicht eingegangen, da dieselbe wenig Bedeutung für die geschilderten Beobachtungen hat. Wenn wir mit derselben Technik an demselben Organ Bilder erhalten, die immer in gleich charakteristischer Weise bei einem Diureticum, in anderer aber ebenso typischer bei anderen auftreten, so sind wir sicherlich berechtigt, darin einen Ausdruck für die bei der betreffenden Diurese in den Zellen auftretenden Veränderungen zu sehen.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die verschiedenen Autoren immer mehr zu der Ansicht gelangen, dass durch die Altmannsche Chrom-Osmiumsäure-Mischung die natürlichen Granula fixirt werden und keine Kunstproducte entstehen.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. I. Querschnitt durch eine Kaninchenniere bei Natrium-Nitricum-Diurese. Die Lumina der Tubuli contorti sind weit, die Epithelien entsprechend niedrig, die Bürstenbesätze stark ausgeprägt, die Granula in Reihen aufgestellt, oft scheinbar zu Stäbchen zusammenfliessend.

Fig. II. Querschnitt durch eine Kaninchenniere bei Coffeïn-Diurese. In den unteren drei Canälchen sind die Lumina ziemlich eng, in den beiden oberen, namentlich links, erheblich weiter. Die Zellen sind hoch, die Bürstenbesätze unkenntlich, die Granula zerstreut, einzelne fallen durch ihre Grösse auf. In dem links unten gezeichneten Canälchen sind die Granula mit mehr Regelmässigkeit aufgestellt und Andeutungen des Bürstenbesatzes erkennbar. Vacuolen finden sich mehr oder weniger deutlich in allen Canälchen-Querschnitten.

Fig. III. Querschnitt durch eine Kaninchenniere bei Harnstoffdiurese. Die Lumina der Canälchen sind ziemlich weit, die Bürstenbesätze verhältnissmässig deutlich. Die Granula meist reihenformig angeordnet. Sie zeigen auffallende Grössenunterschiede, namentlich in den rechts gelegenen Canälchen. Im linken und oberen befinden sich Vacuolen.

Fig. IV. Querschnitt einer Kaninchenniere nach Injection grosser Mengen physiologischer Kochsalzlösung in die Blutbahn. Die Lumina der gewundenen Canälchen sind nur als unregelmässige Spalten sichtbar. Die Zellen sind sehr stark gequollen, die Bürstenbesätze vollkommen verschwunden, die Granula regellos vertheilt und nur blassroth gefärbt.

Fixirung: Altmann'sches Chrom-Osmiumsäure-Gemisch.

Färbung: Altmann'sche Granulafärbung.

Vergrösserung: Leitz' Mikroskop. Objectiv $^1/_{12}$ Oel-Immersion. Ocular 3.



Archiv für die ges. Physiologie. Bd. 98.

1

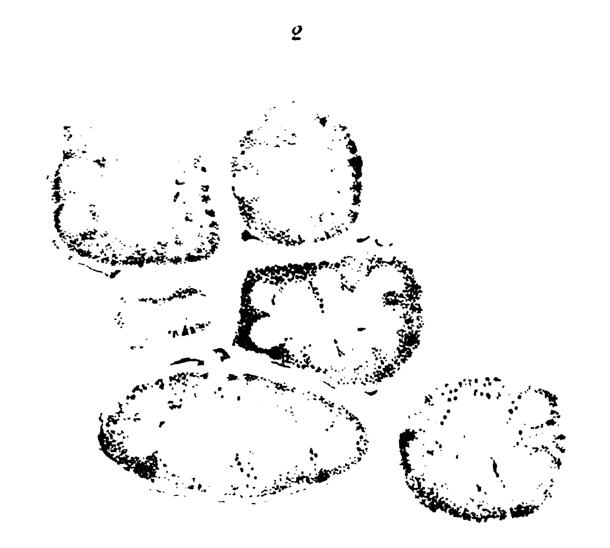


3



Verlag von Emil Strauss, Bonn.

2



4

Lith. Anst. v. Werner & Winter, Frankfurt a. M.

(Aus dem physiol. Laboratorium der zoolog. Station in Neapel.)

Quantitative Untersuchung des Eindringens von Alkaloiden in lebende Zellen.

(Vorläufige Mittheilung.)[1])

Von

Privatdocent Dr. **W. Straub,** Leipzig.

(Mit 2 Textfiguren.)

Die Durchführung von Versuchsplänen, wie sie der Titel angibt, scheiterte bisher daran, dass im Allgemeinen chemisch noch unbestimmbare Mengen Alkaloid zur Herbeiführung der charakteristischen Symptome bei den üblichen Versuchsthieren genügen.

Die Idee wird aber realisirbar, wenn es gelingt, Thierarten und Plasmasorten zu finden, die erst mit relativ grossen Mengen Alkaloid specifische Wirkungen äussern. Es ist für diesen Fall zu erwarten, dass die fraglichen Giftmengen durch toxikologische Bestimmung am empfindlicheren Organismus quantitativ sich werden präcisiren lassen.

Es gelang mir, unter den niederen Thieren geeignetes Material zu finden.

An der Muskulatur des Ventrikels der marinen Schnecke Aplysia[2]) äussert Veratrin eine ganz bestimmte charakteristische Wirkung. Zur Herbeiführung derselben bedarf es grosser Mengen des Giftes, das 10—20fache derjenigen Menge, die an Fröschen schon scharf charakterisirende Wirkungen äussert. Umgekehrt werden eine Reihe anderer Alkaloide in grossen Dosen symptomlos ertragen, und zwar können ohne Schaden Mengen gewählt werden, die das Vielfache einer an Fröschen wirksamen Dosis betragen.

Diese Thatsachen ermöglichen es, die immer noch minimalen

1) Die ausführliche Abhandlung wird gegen Ende des Jahres im Archivio di Fisiologia herausgegeben von Bottazzi und Fano erscheinen.

2) Nähere Angaben zur Anatomie und Physiologie dieses Organs siehe: Straub, Pflüger's Arch. Bd. 86 S. 504 ff. 1901.

Mengen Alkaloid zu bestimmen, die zur Herbeiführung einer bestimmten Wirkung in die Herzmuskelzellen eindringen müssen bezw. eindringen, ohne eine Wirkung zu äussern.

Die Durchführung der Versuche erfolgte am ausgeschnittenen Herzen nach dem Schema der Diffusionsversuche, indem das Volum aller Ventrikelmuskelzellen in Wechselwirkung mit dem des zur Füllung verwandten Blutes gesetzt wurde. Begünstigt wurde die Ausführung der Untersuchung durch die im Verhältniss zum Gewicht des Organs grosse Capacität (ca. 1 ccm) und die lange Dauer des Ueberlebens (1—2 Tage) des isolirten Herzens.

Das Lebendgewicht des leeren Ventrikels schwankt je nach Grösse des Thieres zwischen 0,15 g und 0,24 g mit einem Wassergehalt von 80 %. Das Volum der Füllflüssigkeit, des anfänglichen Trägers des Giftes, war nach Wahl 1,0—5,0 ccm; es standen sich also gegenüber, getrennt durch die Gesammtheit aller Zellhäute, eine bestimmte Menge Zellwasser (Innenlösung) und das 5—25fache Füllungswasser (Aussenlösung).

Der Ventrikel war zum Versuche derart arrangirt, dass er als rhythmisch thätiger Hohlsack seinen Inhalt beständig auswarf und wieder aufnahm. Es war Einrichtung getroffen, dass im gewünschten Zeitpunkt die isotonischen (Füllungs-) und isometrischen (Druck-) Curven graphisch registrirt werden konnten, also Zustand und Zustandsänderung des Herzens unter Controle standen.

Zur Füllung diente das Blut der Thiere, das in grossen Mengen (bis ca. 500 g pro Thier) erhalten werden kann. Es ist eine dem Meerwasser isotonische Salzlösung (= 3,4 % NaCl) mit spurenweisem Gehalte an gelöstem Eiweiss; die spärlichen corpusculären Elemente können durch Sedimentiren sehr rasch von der Flüssigkeit getrennt werden. Diese Flüssigkeit genügt also allen Anforderungen an physiologischem und chemischem Indifferentismus.

Zur Ausführung der Analyse wurde der ausgespülte Ventrikel auf dem Wasserbad in 3 ccm destillirten Wassers unter Vermeidung der Verdunstung 4 Stunden lang erwärmt. Für Lackmus eben deutliches Ansäuern mit derjenigen Säure, mit der das Alkaloid leicht lösliche Salze bildet, erleichtert die Extraction und macerirt das Herz derart, dass es in Brei zerfällt. Die Extracte des Herzens sowie die Füllflüssigkeit wurden auf gleiches Volum gebracht und ihr Gehalt an Alkaloid durch Toxicitätsbestimmung der Lösung an Fröschen bestimmt, nachdem vorher die zugehörigen Constanten mit

Lösungen von bekanntem Gehalt gewonnen waren. Die in Frage kommenden Alkaloide sind Veratrin, Curarin, Strychnin. Ihre Einheitsmengen — im Folgenden Froschdosen (FD) genannt — und die von ihnen hervorgerufenen Symptome sind folgende:

1. Veratrin: Auf Reiz steifbeiniges Herumkriechen, aber noch kein Sprung = 0,0000075 g salzsaures Veratrin = FD. (Ein oder zwei Sprünge mit charakteristischer Veratrinstellung nach dem Sprung = 2,5 × FD.)

2. Curarin: Eben erreichte Nervenendwirkung am Ischiadicus = 0,0025 mg Curarin.

3. Strychnin: Eben auftretender Tetanus.

Das Gewicht der Frösche (stets Esculenten) schwankte zwischen 15 und 20 g.

Wirkung der Substanzen am Aplysienherzen.

Das Veratrin äussert an den Herzmuskelzellen der Aplysien jene ihm ganz allgemein zukommende Wirkung der Verlängerung und Vertiefung der auf die Erregung folgenden Bewegungserscheinungen. Denn die isometrische Maxima (O. Frank) sind um's Doppelte vergrössert, ebenso die Abscissenwerthe der Einzelcurven. Gleichzeitig ist die Frequenz gesunken. Das Eintreten und Fortschreiten des Zustandes lässt sich an der Hand der verzeichneten Druckcurven (Fig. 1 S. 236) eindeutig und klar verfolgen.

Curarin ist gänzlich wirkungslos.

Strychnin hat keinerlei dauernden Einfluss auf die dynamischen Verhältnisse und äussert nur im Laufe der ersten Sekunden nach der Einbringung in das System eine an isotonisch verzeichneten Curven bemerkbare Wirkung auf Frequenz und Organlänge (s. Fig. 2 S. 236).

Resultate der Diffusionsversuche.

Veratrin: Es betrug in einem bestimmten Versuche das Herzgewicht 0,17 g, die Blutfüllung 1,1 ccm mit 22 FD salzsauren Veratrins. Nach 5 Minuten langer Dauer des Experiments: im Blut 12 FD, im Herzen 10 FD. Wäre die Vertheilung nach einfachen Diffusionsgesetzen erfolgt, so wäre ein Gleichgewicht zu erwarten mit 19 FD im Blut und 3 FD im Herzen. Da also im Herzen drei Mal mehr gefunden wurde, als berechnet, ist Veratrin gegen die einfachen Diffusionsgesetze eingedrungen, mit anderen Worten gespeichert worden.

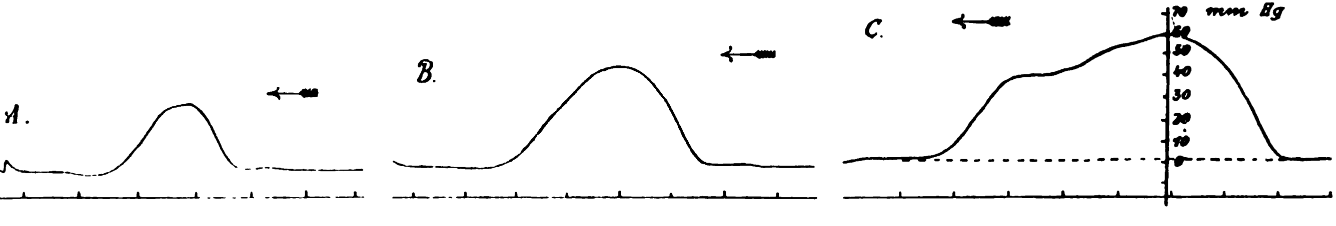


Fig. 1. Effect einer Vergiftung mit 20 FD. Veratrin. *A*. Isometrische Curve des normalen Ventrikels, *B*. 3 Minuten nach Einbringung des Giftes, *C*. 5 Minuten nach Einbringung des Giftes bei gleichen Füllungen.

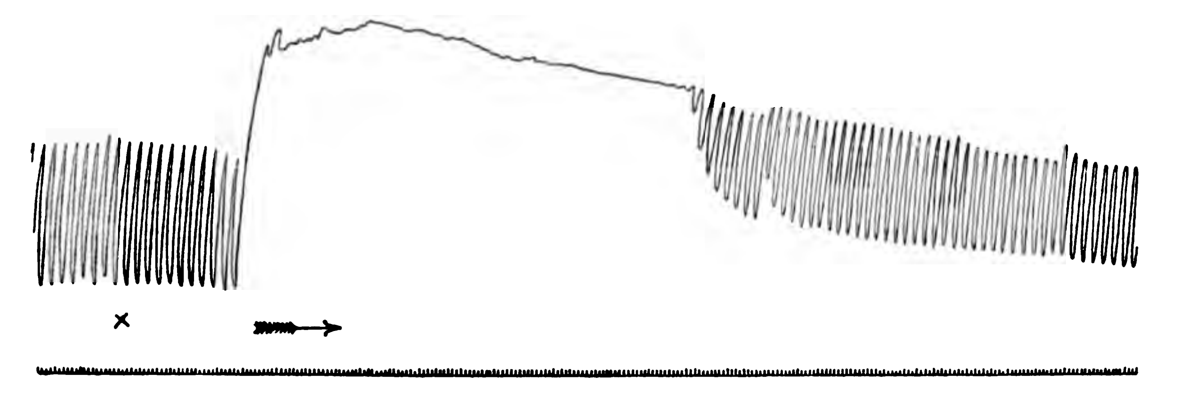


Fig. 2. Vergiftung mit 10 F D Strychnin.

Diese Speicherung geht sehr rasch vor sich; schon nach 10′ langer Dauer des Versuchs ist in einem anderen unter sonst gleichen Bedingungen verlaufenen Experiment die doppelte berechnete (d. h. der Masse entsprechende) Menge gespeichert worden. Die stärkere Verdünnung der absolut gleichen Veratrinmenge äussert sich nur als Verzögerung des Speicherungsvorgangs, der aber trotzdem nach einigen Stunden zu einem Gleichgewichte mit denselben absoluten Mengen Alkaloid in den Muskelzellen führt. Bei Ueberschuss von Veratrin ist also die erzielbare Speicherung nur von der Masse der Muskelzellen bestimmt. Aus vielen Versuchen berechnet sich, dass 1 g Herz rund 110 FD = 0,0008 g Veratrin zu speichern vermag. Wenn zu Beginn des Versuchs in das Blut solche Mengen Veratrin gebracht werden, die dem aus dem Gewichte des Herzens berechneten Speicherungsvermögen nach total und restlos gespeichert werden könnten, so geschieht dies trotzdem nur bis zu einem gewissen Gleichgewicht, bei dem auch im Aussenwasser (Blut) immer noch minimale Mengen Veratrin ($\gtrless$ 1 FD) nachweisbar sind. Das bedeutet, dass innerhalb der Zellen trotz der Speicherung das Veratrin nicht ganz aufhört, den Diffusionsgesetzen zu unterstehen, also wohl nicht in einer fixen chemischen Bindung sich befindet. Hat man in einem Herzen etwa 20 FD gespeichert, so gelingt es leicht, durch fortwährenden Ersatz der Füllflüssigkeit durch neues, normales Blut dem Herzen eine gewisse Menge Veratrin wieder zu entziehen; die Procedur der „Auswaschung“ des Giftes aus einem mit der ganzen speicherbaren Veratrinmenge beladenen Herzen würde, in der angegebenen Weise ausgeführt, so lange dauern, dass sie praktisch nicht quantitativ zu Ende zu führen ist.

Die bei den Versuchen in Frage kommenden geringen Mengen des jeweils ausgewaschenen Giftes lassen sich mit der Methode der Toxicitätsbestimmung der erhaltenen Lösungen nicht mehr scharf bestimmen, doch scheint es, als ob die ersten Waschungen am meisten förderten (1 FD), während später mit steigender Auswaschung weniger abgegeben wird.

Veratrin-vergiftete Herzen bleiben im Allgemeinen länger am Leben als normale (3—4 Tage gegen 1—2); sie lassen sich auch durch extrem grosse Dosen des Giftes nicht tödten. In Herzen, die mit dem jeweiligen Maximum von 30 FD gesättigt waren, konnte nach drei Tagen noch die gesammte erwartete Menge Veratrin isolirt werden, und die quantitative Bestimmung der Veratrinmengen

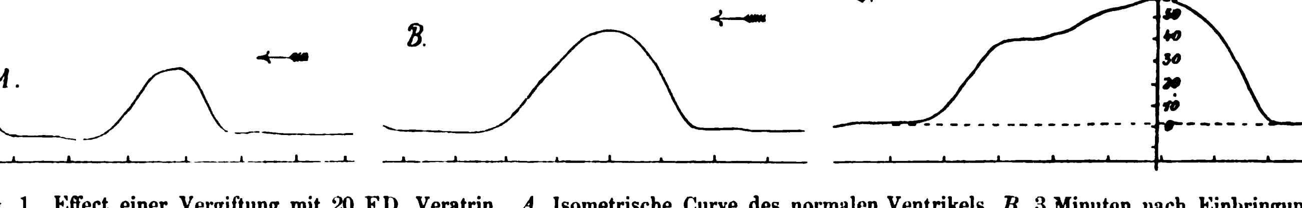


Fig. 1. Effect einer Vergiftung mit 20 FD. Veratrin. *A*. Isometrische Curve des normalen Ventrikels, *B*. 3 Minuten nach Einbringung des Giftes, *C*. 5 Minuten nach Einbringung des Giftes bei gleichen Füllungen.

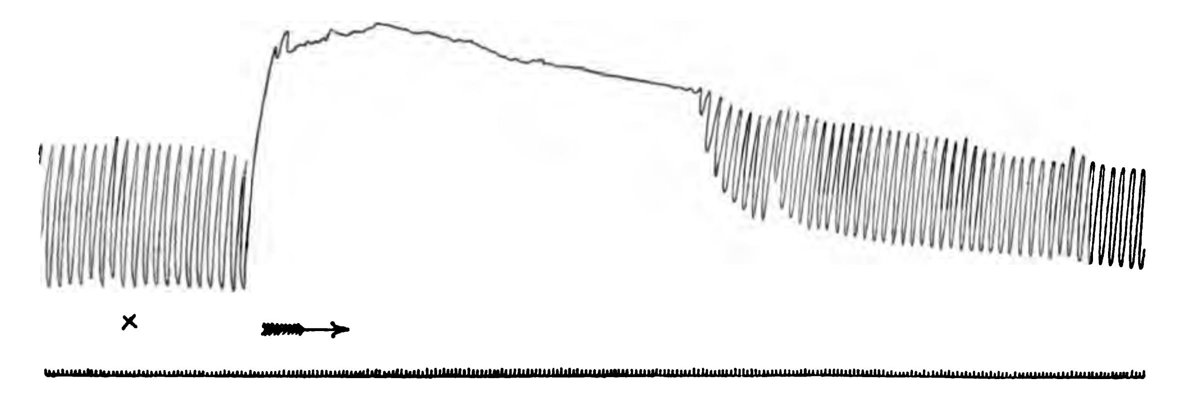


Fig. 2. Vergiftung mit 10 FD Strychnin.

Diese Speicherung geht sehr rasch vor sich; schon nach 10′ langer Dauer des Versuchs ist in einem anderen unter sonst gleichen Bedingungen verlaufenen Experiment die doppelte berechnete (d. h. der Masse entsprechende) Menge gespeichert worden. Die stärkere Verdünnung der absolut gleichen Veratrinmenge äussert sich nur als Verzögerung des Speicherungsvorgangs, der aber trotzdem nach einigen Stunden zu einem Gleichgewichte mit denselben absoluten Mengen Alkaloid in den Muskelzellen führt. Bei Ueberschuss von Veratrin ist also die erzielbare Speicherung nur von der Masse der Muskelzellen bestimmt. Aus vielen Versuchen berechnet sich, dass 1 g Herz rund 110 FD = 0,0008 g Veratrin zu speichern vermag. Wenn zu Beginn des Versuchs in das Blut solche Mengen Veratrin gebracht werden, die dem aus dem Gewichte des Herzens berechneten Speicherungsvermögen nach total und restlos gespeichert werden könnten, so geschieht dies trotzdem nur bis zu einem gewissen Gleichgewicht, bei dem auch im Aussenwasser (Blut) immer noch minimale Mengen Veratrin ($\gtrless$ 1 FD) nachweisbar sind. Das bedeutet, dass innerhalb der Zellen trotz der Speicherung das Veratrin nicht ganz aufhört, den Diffusionsgesetzen zu unterstehen, also wohl nicht in einer fixen chemischen Bindung sich befindet. Hat man in einem Herzen etwa 20 FD gespeichert, so gelingt es leicht, durch fortwährenden Ersatz der Füllflüssigkeit durch neues, normales Blut dem Herzen eine gewisse Menge Veratrin wieder zu entziehen; die Procedur der „Auswaschung" des Giftes aus einem mit der ganzen speicherbaren Veratrinmenge beladenen Herzen würde, in der angegebenen Weise ausgeführt, so lange dauern, dass sie praktisch nicht quantitativ zu Ende zu führen ist.

Die bei den Versuchen in Frage kommenden geringen Mengen des jeweils ausgewaschenen Giftes lassen sich mit der Methode der Toxicitätsbestimmung der erhaltenen Lösungen nicht mehr scharf bestimmen, doch scheint es, als ob die ersten Waschungen am meisten förderten (1 FD), während später mit steigender Auswaschung weniger abgegeben wird.

Veratrin-vergiftete Herzen bleiben im Allgemeinen länger am Leben als normale (3—4 Tage gegen 1—2); sie lassen sich auch durch extrem grosse Dosen des Giftes nicht tödten. In Herzen, die mit dem jeweiligen Maximum von 30 FD gesättigt waren, konnte nach drei Tagen noch die gesammte erwartete Menge Veratrin isolirt werden, und die quantitative Bestimmung der Veratrinmengen

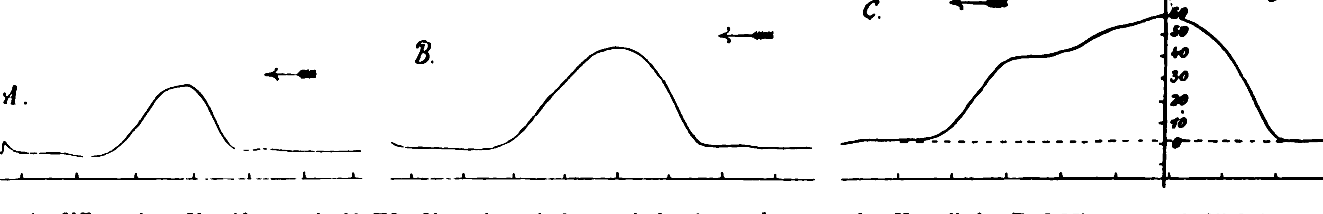


Fig. 1. Effect einer Vergiftung mit 20 FD. Veratrin. *A.* Isometrische Curve des normalen Ventrikels, *B.* 3 Minuten nach Einbringung des Giftes, *C.* 5 Minuten nach Einbringung des Giftes bei gleichen Füllungen.

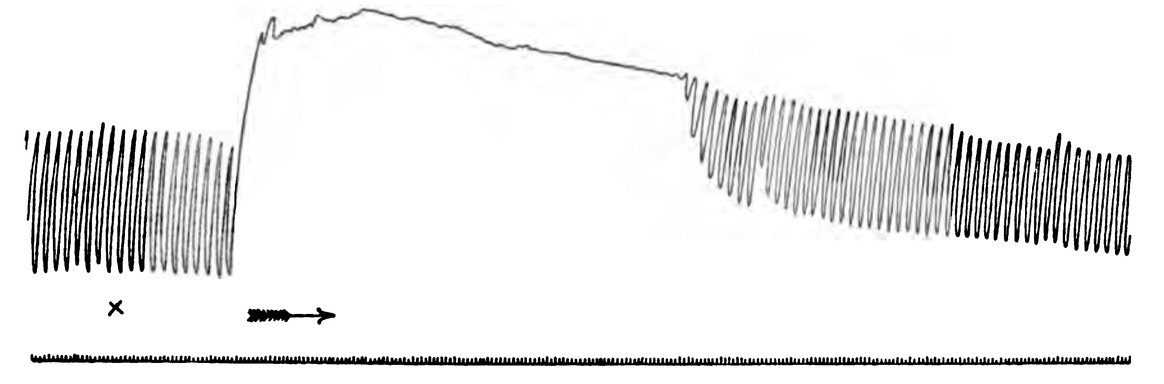


Fig. 2. Vergiftung mit 10 FD Strychnin.

Diese Speicherung geht sehr rasch vor sich; schon nach 10′ langer Dauer des Versuchs ist in einem anderen unter sonst gleichen Bedingungen verlaufenen Experiment die doppelte berechnete (d. h. der Masse entsprechende) Menge gespeichert worden. Die stärkere Verdünnung der absolut gleichen Veratrinmenge äussert sich nur als Verzögerung des Speicherungsvorgangs, der aber trotzdem nach einigen Stunden zu einem Gleichgewichte mit denselben absoluten Mengen Alkaloid in den Muskelzellen führt. Bei Ueberschuss von Veratrin ist also die erzielbare Speicherung nur von der Masse der Muskelzellen bestimmt. Aus vielen Versuchen berechnet sich, dass 1 g Herz rund 110 FD = 0,0008 g Veratrin zu speichern vermag. Wenn zu Beginn des Versuchs in das Blut solche Mengen Veratrin gebracht werden, die dem aus dem Gewichte des Herzens berechneten Speicherungsvermögen nach total und restlos gespeichert werden könnten, so geschieht dies trotzdem nur bis zu einem gewissen Gleichgewicht, bei dem auch im Aussenwasser (Blut) immer noch minimale Mengen Veratrin ($\gtrless$ 1 FD) nachweisbar sind. Das bedeutet, dass innerhalb der Zellen trotz der Speicherung das Veratrin nicht ganz aufhört, den Diffusionsgesetzen zu unterstehen, also wohl nicht in einer fixen chemischen Bindung sich befindet. Hat man in einem Herzen etwa 20 FD gespeichert, so gelingt es leicht, durch fortwährenden Ersatz der Füllflüssigkeit durch neues, normales Blut dem Herzen eine gewisse Menge Veratrin wieder zu entziehen; die Procedur der „Auswaschung“ des Giftes aus einem mit der ganzen speicherbaren Veratrinmenge beladenen Herzen würde, in der angegebenen Weise ausgeführt, so lange dauern, dass sie praktisch nicht quantitativ zu Ende zu führen ist.

Die bei den Versuchen in Frage kommenden geringen Mengen des jeweils ausgewaschenen Giftes lassen sich mit der Methode der Toxicitätsbestimmung der erhaltenen Lösungen nicht mehr scharf bestimmen, doch scheint es, als ob die ersten Waschungen am meisten förderten (1 FD), während später mit steigender Auswaschung weniger abgegeben wird.

Veratrin-vergiftete Herzen bleiben im Allgemeinen länger am Leben als normale (3—4 Tage gegen 1—2); sie lassen sich auch durch extrem grosse Dosen des Giftes nicht tödten. In Herzen, die mit dem jeweiligen Maximum von 30 FD gesättigt waren, konnte nach drei Tagen noch die gesammte erwartete Menge Veratrin isolirt werden, und die quantitative Bestimmung der Veratrinmengen

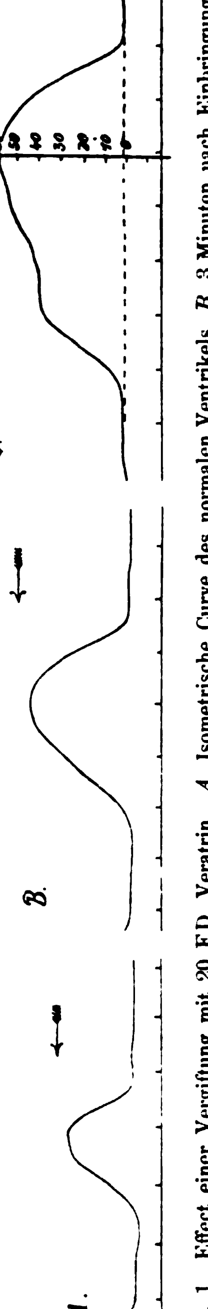


Fig. 1. Effect einer Vergiftung mit 20 FD. Veratrin. *A*. Isometrische Curve des normalen Ventrikels, *B*. 3 Minuten nach Einbringung des Giftes, *C*. 5 Minuten nach Einbringung des Giftes bei gleichen Füllungen.

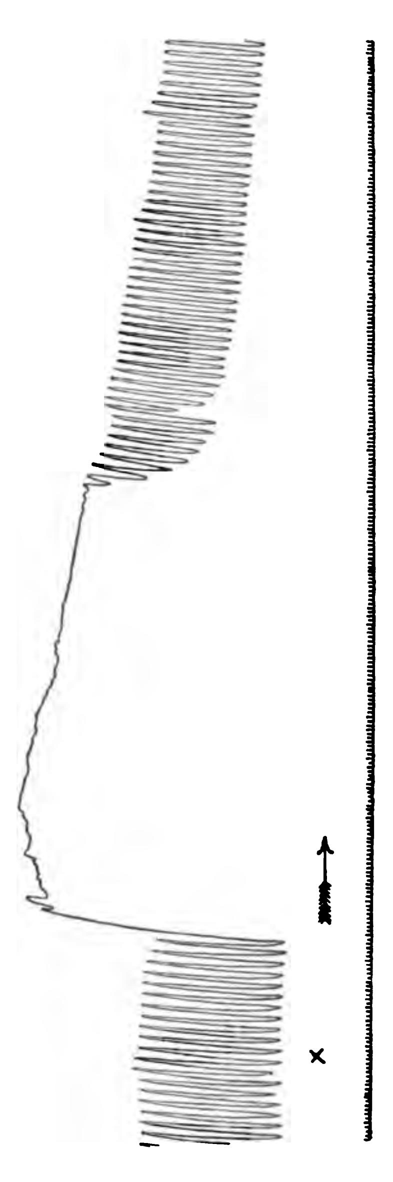


Fig. 2. Vergiftung mit 10 FD Strychnin.

Diese Speicherung geht sehr rasch vor sich; schon nach 10′ langer Dauer des Versuchs ist in einem anderen unter sonst gleichen Bedingungen verlaufenen Experiment die doppelte berechnete (d. h. der Masse entsprechende) Menge gespeichert worden. Die stärkere Verdünnung der absolut gleichen Veratrinmenge äussert sich nur als Verzögerung des Speicherungsvorgangs, der aber trotzdem nach einigen Stunden zu einem Gleichgewichte mit denselben absoluten Mengen Alkaloid in den Muskelzellen führt. Bei Ueberschuss von Veratrin ist also die erzielbare Speicherung nur von der Masse der Muskelzellen bestimmt. Aus vielen Versuchen berechnet sich, dass 1 g Herz rund 110 FD = 0,0008 g Veratrin zu speichern vermag. Wenn zu Beginn des Versuchs in das Blut solche Mengen Veratrin gebracht werden, die dem aus dem Gewichte des Herzens berechneten Speicherungsvermögen nach total und restlos gespeichert werden könnten, so geschieht dies trotzdem nur bis zu einem gewissen Gleichgewicht, bei dem auch im Aussenwasser (Blut) immer noch minimale Mengen Veratrin ($\gtrless$ 1 FD) nachweisbar sind. Das bedeutet, dass innerhalb der Zellen trotz der Speicherung das Veratrin nicht ganz aufhört, den Diffusionsgesetzen zu unterstehen, also wohl nicht in einer fixen chemischen Bindung sich befindet. Hat man in einem Herzen etwa 20 FD gespeichert, so gelingt es leicht, durch fortwährenden Ersatz der Füllflüssigkeit durch neues, normales Blut dem Herzen eine gewisse Menge Veratrin wieder zu entziehen; die Procedur der „Auswaschung“ des Giftes aus einem mit der ganzen speicherbaren Veratrinmenge beladenen Herzen würde, in der angegebenen Weise ausgeführt, so lange dauern, dass sie praktisch nicht quantitativ zu Ende zu führen ist.

Die bei den Versuchen in Frage kommenden geringen Mengen des jeweils ausgewaschenen Giftes lassen sich mit der Methode der Toxicitätsbestimmung der erhaltenen Lösungen nicht mehr scharf bestimmen, doch scheint es, als ob die ersten Waschungen am meisten förderten (1 FD), während später mit steigender Auswaschung weniger abgegeben wird.

Veratrin-vergiftete Herzen bleiben im Allgemeinen länger am Leben als normale (3—4 Tage gegen 1—2); sie lassen sich auch durch extrem grosse Dosen des Giftes nicht tödten. In Herzen, die mit dem jeweiligen Maximum von 30 FD gesättigt waren, konnte nach drei Tagen noch die gesammte erwartete Menge Veratrin isolirt werden, und die quantitative Bestimmung der Veratrinmengen

plasten erwärmen müssen. Setzen wir den ersten obigen Fall, dass die umgesetzte chemische Spannkraft einen grösseren Energiebetrag darstellt als diejenige des Ruhestromes, so ist die entstehende Wärme die Summe des bleibenden calorischen Restes und der entstehenden Joule'schen Wärme. Denn wir müssen immer im Auge behalten, dass der elektrisch thätige Protoplast ein in sich geschlossenes Element darstellt, dass also seine ganze elektrische Energie bei der Bethätigung sich in Joule'sche Wärme verwandelt.

In einem zweiten Falle möge der Verlust an chemischem Energieinhalt gleich dem Gewinn an elektrischem sein. Hier tritt ersichtlicher Weise nur Stromwärme auf, welche dem chemischen Energieverlust äquivalent ist.

Nur in dem Falle, dass wir es bei den thierisch-elektrischen Strömen nicht mit „chemischen Ketten“ zu thun haben, tritt keine Erwärmung ein, weil der elektrische Arbeitswerth transformirte Umgebungswärme ist, die in Form von Joule'scher Wärme wieder erscheint.

Man denkt bei dieser Auseinandersetzung sofort an die Thatsache, dass am „thätigen“ Nerven keine Erwärmung nachzuweisen ist. Ob dies auch für die „Ruheströme“ gilt, bleibt experimenteller Untersuchung vorbehalten. Wichtig in dieser Hinsicht ist schon die Erfahrung, dass der Ruhestrom einen verhältnissmässig kleinen Temperaturcoëfficienten besitzt, während die Schnelligkeit der supponirten chemischen Umsetzungen vermuthlich eine starke Temperaturabhängigkeit zeigen würde.

Unter welche Rubrik der Protoplast als „nicht chemische“ Kette fallen würde, darüber will ich hier noch keine Speculationen anstellen. Es genüge, darauf hinzuweisen, dass wohl in allen Fällen, in denen wir protoplasmatisch-elektrische Ströme nachweisen können, eine Differenz der osmotischen Partialdrucke innerhalb und ausserhalb der Zelle — diesseits und jenseits einer „semipermeablen Membran“ vorliegt. Dadurch sind beträchtliche Arbeitsleistungen ermöglicht.

Nur um sie gleich betont zu haben, sei schon hier auf die grossen Schwierigkeiten hingewiesen, sich eine Vorstellung darüber zu bilden, wie diese osmotischen Partialdruckdifferenzen erhalten bezw. wieder hergestellt werden können.

Zur schnelleren Verständigung über spätere Experimente schicke ich voraus, dass ich von der provisorischen Annahme ausgehe, jeder

lebende Protoplast in seinem natürlichen Milieu befinde sich in einem elektrostatischen Gegensatz zu dem umgebenden Medium, zu der umspülenden Elektrolytlösung. Die äussere Oberflächenschicht ist fortwährend elektrisch geladen, gleichstark und entgegengesetzt wie die innere. Bei einer „Reizung“ oder „Verletzung“ des Protoplasten soll am Ort der Reizung — ganz allgemein gesagt — der Betrag dieser Ladung verändert werden. Geschieht das partiell, so geht das Gleichgewicht, der elektrostatische Zustand in einen elektrokinetischen über; es resultirt ein Strom.

Diese Vorstellung hat — abgesehen von der elektromotorischen „Demarcationsfläche“ —, wie man sieht, viel Gemeinsames mit der Hermann'schen Alterationstheorie. Vor Allem, dass der partiell „alterirte“ Protoplast bis zu seinem gänzlichen „Absterben“ dauernd von einem elektrischen Strom durchflossen wird, dem „Ruhestrom“ der Muskelfibrille. Die partiell „geschädigte“ Zelle bethätigt sich also wie ein in sich geschlossenes elektrisches Element. Der „äussere Schliessungsbogen“ würde durch den die Zelle umgebenden Elektrolyten, der innere durch den leitenden Inhalt des Protoplasten gebildet.

Angrenzende Zellen brauchen durch diesen Ruhestrom in keiner Weise beeinflusst zu werden: sie können, wenn man vermittelst ihrer einen Theil des Ruhestromes nach aussen, z. B. zu einem Messinstrument ableitet, lediglich als indifferente Leiter fungiren, gleichgültig, ob sie „todt“ oder „lebend“ sind. Nur dass sie im letzteren Fall unter Umständen durch die Stromschleife „gereizt“ werden können. Hiermit soll übrigens nichts über die noch unerledigte Frage gesagt sein, ob lebende Zellen den elektrischen Strom überhaupt in nachweisbarem oder beträchtlichem Maasse leiten.

Aus der obigen Vorstellung des elektrisch thätigen Protoplasten ergeben sich nun sofort wichtige Folgerungen. Z. B. die folgende: wenn wir die berechtigte Annahme machen, dass der „innere“ und der „äussere“ Widerstand des Zellelementes von der gleichen Grössenordnung sind, so vertheilt sich der gesammte maximale Potentialabfall, die elektromotorische Kraft der Zelle zur Hälfte auf den inneren, zur Hälfte auf den äusseren Leiter. Vermehre ich nun den äusseren Widerstand bei gleichbleibendem inneren, so muss sich der gesammte Potentialabfall proportional den Widerständen auf äusseren und inneren Leiter vertheilen: die „Klemmschraubenspannung“ vergrössert sich, das ableitbare Potential wächst, und es wird schliesslich gleich der elektromotorischen Kraft der Zelle, wenn der äussere Widerstand unendlich gross ist.

Diese wichtige Folgerung scheint experimentell realisirbar. Vorgreifend will ich das betreffende Experiment hier schon anführen.

Wenn man einen Froschsartorius einige Zeit in eine dem Serum isotonische Rohrzuckerlösung legt, so werden seine interfibrillären Elektrolyte allmählich ausgelaugt und durch Zucker ersetzt. Die Fibrille selbst behält nach den bisherigen Erfahrungen ihre Elektrolyte, und der Zucker dringt nicht nachweislich in ihr Inneres ein. Bei isotonischen Lösungen bleibt auch die Concentration erhalten. Die Folge ist also zunehmende Vergrösserung des „äusseren Widerstandes" bei gleichbleibendem inneren. Ich fand nun im Einklang mit den obigen Darlegungen, dass bei einem solchen „Zuckermuskel" die ableitbare Potentialdifferenz bis doppelt so gross ist, als sie es vor der Zuckerbehandlung war, und dass sie zu dem ursprünglichen Werthe zurückkehrt, wenn man den Zuckermuskel wieder in isotonische Kochsalzlösung überträgt. Die Manipulation lässt sich mit vollem Erfolge mehrmals nach einander wiederholen.

Ich gebe dem Versuch, wie gesagt, vorläufig die obige Deutung. Ob sie die richtige ist, kann erst in einer späteren Mittheilung discutirt werden. Einen sehr nahe liegenden Einwand aber möchte ich hier gleich erledigen: es gelingt bekanntlich nicht, durch Auslaugen des Muskels mit Wasser das Potential des Ruhestromes zu steigern. Das erscheint aber selbstverständlich, denn die Wasserquellung steigert wohl wie die isotonische Zuckerlösung den extrafibrillären Widerstand, gleichzeitig aber durch Verdünnung auch den intrafibrillären. Dazu kommt, dass die *E. K.* durch Verdünnung der Ionen-liefernden intrafibrillären Elektrolyte sinken muss. Hier sei daran erinnert, dass Overton[1]) kürzlich die eminent wichtige Entdeckung gemacht hat, dass mit Rohrzucker oder anderen Non-Elektrolyten behandelte Muskeln Erregbarkeit und Leitungsvermögen verlieren. Ich kann zur Bestätigung noch hinzufügen, dass sich an Zuckermuskeln auch eine negative Schwankung des sehr stark gespannten Ruhestromes nicht nachweisen lässt.

Bei alledem liegt der Gedanke nahe, dass die sehr geringe Intensität, welche den Actionsströmen der Zuckermuskeln zu Gunsten ihrer Spannung zukommen muss, die Erregung und Leitung vereitelt. Möglich ist das immerhin, aber zur Begründung des Ausbleibens einer Contraction müssen noch andere Factoren in Betracht kommen.

1) Overton, Beiträge zur allgem. Muskel- u. Nervenphysiologie. Dieses Archiv Bd. 96. 1903.

Denn die zweite wichtigere Hälfte der Overton'schen Entdeckung lautet: Nur beim Ersatz der Zuckerlösung durch Natrium- oder Lithiumsalz kehrt das Contractionsvermögen wieder. Hier stehen wir jedenfalls auf einem hochwichtigen und aussichtsreichen Punkt der ganzen Muskelphysiologie.

Machen wir noch eine zweite Folgerung aus der Vorstellung des partiell verletzten Protoplasten als eines in sich geschlossenen thätigen Elementes, bei welchem wir die gesammte nicht verletzte Oberfläche als Anode, die verletzte Stelle als Kathode betrachten. Da ist es zunächst nicht verwunderlich, dass wir gleich nach Eintritt der Verletzung an allen Punkten der Protoplastenoberfläche Potentialdifferenzen nachweisen können, vorausgesetzt, dass die beiden Elektroden nicht zufällig auf einer isoelektrischen Curve liegen. Die Grösse der Potentialdifferenz wird — abgesehen von der jeweiligen E. K. der Zelle — wesentlich vom Verhältniss des intrapolaren (zwischen den Elektroden gelegenen) Widerstandes zu demjenigen des ganzen cellularen Stromkreises bedingt sein.

Oker-Blom[1]) schreibt in einer Arbeit, deren Inhalt im zweiten Theil dieser Mittheilung noch ausführlich besprochen wird, bezüglich der auf der ganzen Fibrille sich rasch etablirenden Potentialdifferenzen: „Diese bis auf den heutigen Tag noch ziemlich unübersehbare Thatsache wird ja bekanntlich mit der Reizbarkeit der lebendigen contractilen Substanz in Zusammenhang gebracht, wobei die der Verletzung näher gelegene Stelle in höherem Grade als die entferntere sich im Reizungszustande befindet bezw. Zerfallsstoffe entstehen lässt, welche nunmehr den Erfordernissen der physikalischen Chemie unterliegen und von entsprechenden elektromotorischen Erscheinungen begleitet werden.“

Ich muss gestehen, dass ich selbst früher auf Grund der Hermann'schen elektromotorischen Demarcationsfläche zu der Vorstellung geneigt war, dass sich von dieser Fläche aus der „Reiz“ „elektrotonisch“ ausbreite, und dass dadurch das schnelle Entstehen elektromotorischer Differenzen auf der ganzen Fibrille zu Stande käme.

Jetzt erscheint mir diese Vorstellung sehr erzwungen, nachdem wir oben gesehen haben, dass ein so stark elektromotorischer Zucker-

---

1) Oker-Blom, Thierische Säfte und Gewebe. IV. Mittheilung. Die elektromotorischen Erscheinungen am ruhenden Froschmuskel. Pflüger's Archiv Bd. 84 S. 191. 1901.

muskel nicht „reizbar“ ist. Dass er wenigstens auf die uns bekannten Reize hin nicht mit Contraction antwortet. Auch das, was wir als Leitungsvermögen bezeichnen, fehlt ja: es tritt keine negative Schwankung des Ruhestromes ein; es lassen sich mit Zucker behandelte Stellen reizen, ohne dass der zugehörige normale Rest zuckt; eine Erregung geht nicht durch eine in der Mitte liegende, mit Zucker behandelte Stelle hindurch (Overton). Bei narkotisirten Muskeln liegen ja die Verhältnisse trotz normaler Ruhestrom-Erscheinungen ebenso. Wollte man also der Oker-Blom'schen Ansicht folgen, die man übrigens, soviel ich weiss, nicht „bekanntlich“ allgemein als richtig annimmt, so müsste man sich ad hoc noch eine ganz neue Art von Reizausbreitung construiren. Das scheint unnöthig.

Aus der ungezwungeneren Anschauung der verletzten Muskelfibrille als eines thätigen Elementes mit Anode und Kathode folgt eine weitere Möglichkeit: man muss solche Fibrillen „schalten“ können. Man muss im Stande sein, sie „parallel“, d. h. auf Stromstärke und „hinter einander“, auf Spannung zu schalten. Das ist bei diesen langen Zellen in der That experimentell ausführbar. Natürlich kann man nur die ganzen Muskeln oder doch Theile, die man durch vorsichtige Längsspaltung erhält, „schalten“.

Legt man die beiden Hälften eines in der Mitte quergeschnittenen Sartorius, deren jeder ein maximales Potential von 40 Millivolt aufweisen möge, so an einander, dass der Querschnitt der einen das unverletzte Ende der anderen berührt, und leitet nun von dem unverletzten Anfang und dem Querschnittsende der ganzen „Kette“ ab, so erhält man eine Potentialdifferenz von 70—80 Millivolt. Man hat auf Spannung geschaltet.

Ebenso lassen sich Muskelstücke „parallel“ schalten, sie lassen sich so an einander legen, dass die Querschnitte an der gleichen Seite liegen und die „natürlichen Längsschnitte“ einander berühren. Man kann auch einen Sartorius, dessen beide Enden verletzt sind, U-förmig zusammenlegen, so dass die Schnitte der Enden in einer Ebene liegen. In allen diesen Fällen nimmt die Spannung nicht zu; nur die Intensität addirt sich.

Dass man schliesslich „gegen einander schalten“ kann, indem man die beiden Hälften eines quer durchschnittenen Muskels mit den Schnittflächen oder den entgegengesetzten unverletzten Enden an einander legt, ist selbstverständlich. Eine Potentialdifferenz tritt

dann nicht auf, sobald die beiden Elektroden symmetrisch zur Contactfläche liegen.

Die „Schaltung“ braucht nicht in der Weise zu geschehen, dass man die Muskelstücke direct an einander legt: Der Effect ist ganz der gleiche, wenn man die jeweilige Form der Verbindung durch Fliesspapierbäuche mit isotonischer Kochsalzlösung, durch unverletzte Muskeln oder irgend einen anderen indifferenten Leiter herstellt. Nur muss man natürlich im Auge behalten, dass durch die elektromotorisch selbst nicht wirksamen Verbindungsstücke unter Umständen ein Nebenschluss entsteht, welcher den ableitbaren Strom schwächt.

Der Leser möge mir an dieser Stelle eine kleine Abschweifung gestatten.

Man ist nach dem schnellen Aufblühen der Elektrophysiologie um die Mitte des vorigen Jahrhunderts der Bedeutung der thierisch-elektrischen Erscheinungen gegenüber mehr und mehr skeptisch geworden. „Seit den frühesten Zeiten der Entwicklung der Experimentalphysiologie waren es die sonderbaren Wirkungen des elektrischen Stromes auf die reizbaren thierischen Theile, sowie die elektrischen Kräfte, welche unter Umständen von diesen selbst ausgehen, welche immer wieder auf's Neue die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich zogen und zu einer Fülle von Untersuchungen Anlass gaben, die zu vermehren auch heute noch zahlreiche Forscher unablässig bemüht sind. Es erklärt sich dies leicht aus der grossen Bedeutung, welche man anfangs dem Wirken elektrischer Kräfte im lebendigen Organismus zuzuschreiben geneigt war. Später, als diese Erwartungen sich nicht in dem erhofften Maasse erfüllt hatten und das erstrebte Ziel einer ‚physikalischen‘ Erklärung der Muskelcontraction, der Nervenleitung u. s. w. weiter denn je hinausgerückt schien, da war es die Fülle der inzwischen bekannt gewordenen Thatsachen sowie die Exactheit der Untersuchungsmethoden und die Ueberzeugung, dass es schliesslich bei consequentem Verfolgen des einmal betretenen Weges doch wohl gelingen müsste, auch von dieser Seite her der Lösung einiger der zahllosen Räthsel der lebendigen Substanzen sich zu nähern, wodurch der Forschungseifer immer auf's Neue angespornt wurde.“ So schrieb Biedermann 1895 in seinem schon citirten Buch.

Ich glaube, dass der stillen Ueberzeugung, dass „dem Wirken elektrischer Kräfte im lebendigen Organismus“ eine enorme Bedeutung zukommt, seitdem neue Nahrung zugeflossen ist.

Allerdings wissen wir immer noch so gar nichts über diese Bedeutung; wir können uns nicht über dunkle Vermuthungen über den Zusammenhang von Elektricität mit Reizbarkeit, mit Contractilität, vielleicht noch mit Ausfällung von Colloiden, mit Transport eines Stoffes gegen sein Concentrationsgefälle und Anderem hinauswagen. Förderlich kann es hier wohl sein, wenn man Zweierlei nicht aus dem Auge verliert:

1. Dass es eine Fundamentaleigenschaft wahrscheinlich aller der Elemente, aus denen sich die lebende Substanz aufbaut, der Protoplasten ist, sich elektromotorisch bethätigen zu können. Ob sie das nur bei groben Verletzungen oder auch beim Ablauf des normalen Zelllebens thun, das entzieht sich bei den meisten Geweben schon desshalb unserer Beurtheilung, weil die Einzelzelle zu klein ist, um Elektroden an sie anzulegen, und weil es bei den Zellaggregaten durchaus auf die Structur, auf die „Schaltung" der Zellen und auf die Coordination ihrer elektrischen Thätigkeit ankommt, ob eine Gesammtwirkung auf unsere Messinstrumente stattfinden kann. Schon in den Zeiten der elektrischen Molekulartheorien hatte man ja eine dunkle Vorstellung davon, dass eine gewisse elementare Ordnung unerlässlich Vorbedingung für thierisch-elektrische Erscheinungen sei: Fibrilläre Structur und elektromotorische Wirkungen wurden eng verknüpft gedacht. Dieser Gedanke hat sich als ebenso unzureichend erwiesen wie etwa das gegenseitige Bedingtsein von Contractionsfähigkeit und Fibrillenstructur. Es ist aber immerhin möglich, dass die Structur vieler Gewebe so wirkt, dass allgemeine Zellwirkungen hier in einer Richtung erfolgen und, sich so summirend, für unsere groben Hülfsmittel nachweisbar werden.

2. Hat man sich davor zu hüten, die protoplasmatisch-elektrischen Wirkungen quantitativ zu unterschätzen. Ohne Weiteres ist die Annahme noch nicht für absurd zu halten, dass alle Zellströme ziemlich von gleicher Grössenordnung sein könnten. Allerdings wird man vom elektrischen Schlag gewisser Fische zu Boden geworfen, während der Ruhestrom des Froschmuskels nur mit feinen Hülfsmitteln nachweisbar ist. Dem Fisch dient die Elektricität zur Waffe; wozu sie dem Froschmuskel dient, wissen wir nicht. Seine Elemente sind parallel geschaltet — sie könnten durch Spannungsschaltung zur Waffe werden. Schon durch grobes Hintereinanderschalten von Muskelstücken e i n e s Frosches kann man — zumal wenn der Frosch mit Zuckerlösung ausgespült ist — leicht e i n V o l t Spannung er-

zielen. Nun denke man sich einmal die immense Zahl der einzelnen Fibrillen (die ja hierzu stark verkürzt sein könnten) hinter einander — mit einer Art coordinirten Entladung — man würde dann Froschströme nicht mehr unterschätzen.

Es ist schon von Hermann besonders davor gewarnt, die Intensität elektrischer Ströme lebender Gewebe zu unterschätzen. Mag auch die *E. K.* einer Zelle ein Centivolt nicht erreichen — die mikroskopischen oder untermikroskopischen Abmessungen ihrer Widerstände ermöglichen trotzdem eine Stromstärke und -dichte, welche zu erheblichen Arbeitsleistungen befähigt.

Wir sind in's dunkle Reich der Möglichkeiten geraten und haben die Dinge im Dunklen vielleicht überschätzt. Kehren wir auf thatsächlicheren Boden zurück. Ich möchte in der folgenden Mittheilung versuchen, einige elektromotorische Erscheinungen, die man an Muskeln als Glieder von Flüssigkeitsketten beobachten kann, kritisch zu betrachten, um sie von unserem späteren Thema, dem Demarcationsstrom, mit dem sie meines Erachtens nichts wesensgemein haben, abzusondern. Bevor wir damit beginnen, wird es nicht ganz unnütz sein, einige Worte über die benutzten Methoden zu sagen.

Methodik.

Für Potentialmessungen an Muskeln kommt wohl nur das Poggendorff'sche bezw. das Bois-Reymond'sche Compensationsverfahren in Betracht. Ueber das Prinzip der Methode ist kein Wort zu verlieren. Möglicher Weise aber kann eine kurze Angabe darüber, wie man sich auf einfache Weise ein messbar-veränderliches Compensations-Potential herstellt, von Nutzen sein.

Für Muskelversuche ist ein zwischen 0 und etwa 100 Millivolt veränderlicher Potentialfall ausreichend. Der Ostwald'sche dekadische Rheostat ist für so kleine Spannungen nicht geeignet, und Ostwald empfiehlt selbst, für solche Fälle zur Messbrücke zurückzukehren.

Die Ablesungen auf einem dekadisch getheilten Messdraht sind nun besonders bequem, wenn die Brückenlänge von 1 m eine Potentialdifferenz von *n* mal 10 Millivolt, z. B. 0,1 Volt umfasst. Die Millimeter der Skala bedeuten dann ja Millivolt. Auf folgende Weise ist eine derartige Potentialvertheilung leicht herzustellen.

Von 0,2 mm dickem gleichmässigen Manganindraht misst man möglichst genau 9 m ab, was bei gutem Draht durch Wägung geschehen kann, nachdem man das Gewicht von 1,00 m Draht genau festgestellt. An den Enden spart man etwas Draht über, knickt genau an den Marken um und löthet an die Knicke Klemmschrauben mit Holzgewinde an. Diese Schrauben dreht man in die Hälften

eines durchschnittenen grösseren Korkes, legt die Hälften ohne Torsion des Drahtes wieder an einander und wickelt ihn bifilar mit genügenden Isolirabständen auf den Kork, wobei die Endschleife durch einen Holzstift fixirt wird. Eine solche Widerstandsspule kann man dann mit Paraffin bequem in ein passendes Pulvergläschen eingiessen.

Auf die Messbrücke wird 1 m des gleichen Widerstandsdrahtes aufgezogen und die Spule durch einen dicken kurzen Kupferstab mit der einen Brückenklemme verbunden. Um nun auf die Länge des Messdrahtes 0,100 Volt Spannungsabfall zu erhalten, handelt es sich darum, der Brücke und Spule, also 10 m des Widerstandsdrahtes genau 1 Volt Endspannung zu ertheilen. Das ist sehr bequem bei Benutzung eines Normalelementes von genau 1,00 Volt *E. K.* Solche Elemente kann man sich leicht bis auf einige Millivolt genau herstellen [1]); sie sind sehr constant und haben einen zu vernachlässigenden Temperaturcoëfficienten.

Man schaltet nun den Brückendraht zur Aichung mitsammt der 9 m-Spule und einem Stöpselrheostaten in den Stromkreis eines Accumulators. Brücke und Spule nimmt man gleichzeitig in den Kreis des 1 Volt-Elementes auf, welcher ausserdem das Messinstrument, Bussole oder Capillarelektrometer enthält. Die beiden Stromkreise sind gegen einander geschaltet, und man kann (durch einen Quecksilberschlüssel mit 3 Näpfen) die Einrichtung gleich so treffen, dass das Normalschwert jederzeit an Stelle des Muskels in den Elektromotorenkreis zu legen ist.

Die Wirkung des 1 Volt-Elementes auf das Elektrometer wird nun mittelst des Accumulators durch Ausstöpseln von Widerständen genau compensirt. Ist das erreicht, so liegt ersichtlicher Weise auf der Messbrücke pro Millimeter ein Millivolt Spannung. In gleicher Weise wird von Zeit zu Zeit die Richtigkeit der Brückenspannung controlirt und eventuell mit Hülfe des Rheostaten corrigirt.

Manganindraht ist für den vorliegenden Zweck wohl am meisten zu empfehlen, wegen seines beträchtlichen Widerstandes, geringen Temperaturcoëfficienten, geringer thermoelektrischer Gefahr gegen Kupfer und Messing und grosser Wohlfeilheit. Auch ist es in unserem Falle nicht nöthig, unter die Dicke von 0,2 mm hinunterzugehen, wobei die Gefahr einer Ungleichmässigkeit des Drahtes sehr steigen würde. Der Widerstand eines 0,2 mm-Drahtes ist nämlich derart, dass bei 0,1 Volt Brückenspannung etwa 270 Ohm in dem Accumulaturkreis liegen. Damit hält aber schon ein kleiner einzelliger Accumulatur von vier Ampèrestunden bei täglichem Gebrauch Monate lang aus, wenn man das Ausschalten nicht vergisst. Noch zweckmässiger wie der Draht dürfte allerdings das neuerdings in den Handel kommende Manganinband wegen sehr grossen Widerstandes bei gleichmässiger Beschaffenheit sein.

Es braucht wohl nicht besonders gesagt zu werden, dass man sich durch die einfache Herstellung von Hülfsspulen von 1, 4, 19 u. s. w. Meter Länge jeden gewünschten und dekadischen Potentialabfall auf die Messbrücke legen kann.

Als elektrometrisches Nullinstrument habe ich in sämmtlichen Versuchen ein Lippmann-Elektrometer von der empfindlichsten

1) Vgl. Ostwald und Luther, Physiko-chemische Messungen S. 364. Leipzig 1902.

senkrechten Form, mit 45 cm langem Druckrohr benutzt. Das Instrument stand auf erschütterungsfreier Wandconsole, so dass sich der Meniscus noch gut mit 150facher Vergrösserung ablesen liess. Im Ocular Fadenkreuz und Mikrometer: 1 cm in 200 Theilen. Als unpolarisirbare Elektrode diente ausnahmslos die Ostwald'sche Normalelektrode, Quecksilber — Calomel — 0,1 NaCl (nicht KCl). Die Form der Elektrode musste dem jeweiligen Zweck angepasst werden, und ich beschreibe sie daher besser bei den einzelnen Versuchen. Doch sei hier erwähnt, dass für gewöhnliche Muskelableitung mit isotonischer Kochsalzlösung mir die Oker-Blom'sche Form[1]) sehr gute Dienste leistete. Die Elektroden befestigte ich zur bequemen Handhabung an kleinen Doppel-Kugelgelenken. Die sehr kleinen und spitzen Haarpinsel wurden, um unnöthigen Widerstand durch Einklemmen zu vermeiden, mit dicker Kochsalz-Gelatinelösung in die reichlich weiten „secundären" Glasröhrchen eingegossen. Von solchen secundären Elektrodenstücken wurde ein grösserer Vorrath in verschiedener Form, mit Pinseln, Dochten, Gelatineausguss u. s. w. in 0,1 n. Kochsalzlösung aufbewahrt, so dass jedes Paar nach kurzem Gebrauch gegen ein neues ausgetauscht werden konnte.

Sämmtliche Stative, Muskelhalter, Elektroden u. s. w. — es waren deren immer gleichzeitig mehrere in Gebrauch, welche einzeln in den Elektrometerkreis geschaltet werden konnten — waren mit Glasfüssen versehen und standen auf der Glasplatte einer grossen Hermann'schen feuchten Kammer.

Kritik und Versuche.

Mit den raschen Fortschritten unserer Zeit auf elektrochemischem Gebiete trifft eine neue wichtige Vorstellung über die Zell-„Structur" zusammen; ich meine die Oberflächenschicht des Protoplasten, deren Charakteristicum eine eigenthümlich begrenzte Durchlässigkeit für gelöste Stoffe auf Grund eines elektiven Lösungsvermögens darstellt. Die Combination solcher Erfahrungen auf verschiedenen Gebieten gibt Material zu neuen Hypothesen über das Wesen der thierisch-elektrischen Erscheinungen.

Schon verschiedene Versuche sind vorhanden, die Thatsachen der Muskelelektricität mit den modernen Lehren der physikalischen

1) Dieses Archiv Bd. 79 S. 384.

Chemie in Einklang zu bringen. Am meisten Anklang unter diesen Versuchen hat wohl die schon citirte Arbeit von Oker-Blom gefunden. Der Verfasser selbst sagt an mehreren Stellen, nachdem er sich gegen den Verdacht verwahrt hat, den „ehrenwerthen Forschern“ vor ihm einen Vorwurf daraus zu machen, dass sie eine richtige Deutung der thierischen Elektricität nicht finden konnten, dass es ihm unter gewissen Voraussetzungen gelungen sei, die Erscheinungen der Muskelelektricität mit den Lehren der Physikochemie in Uebereinstimmung zu bringen. Da ich diese Ansicht, die dem Autor nachgesprochen ist, nicht theilen kann, muss ich versuchen, die Arbeit in ihren wichtigsten Punkten zu widerlegen. Eine detaillirte Kritik der sehr zahlreichen einzelnen Versuche ist leider zu zeitraubend, ich muss mich auf das beschränken, was ich nachgeprüft habe, und versuchen, in allgemeinerer Besprechung der ausführlichen Arbeit einigermaassen gerecht zu werden.

Der Grundirrthum der Oker-Blom'schen Anschauungen, welche meines Erachtens geeignet sind, eine Verwirrung in die zur Zeit einwandfreieste Formulirung des Ruhestroms, in den Hermann-schen Begriff „Demarcationsstrom“ zu bringen, scheint mir darin zu liegen, dass der Autor den specifischen Begriff des Alterationsstroms partiell alterirter Protoplasten mit allerlei elektrischen Erscheinungen vermengt, welche man erhalten kann, sobald man lebende oder todte Muskeln zu Gliedern gewisser Flüssigkeitsketten verwendet.

Ich muss da etwas ausführlicher werden. Um zu ermitteln, ob ein partiell geschädigter Muskel elektromotorisch thätig ist, ob er von einem Ruhestrom durchflossen wird, leiten wir zwei Punkte seiner Oberfläche mittelst unpolarisirbarer Elektroden zu irgend einem Rheoskop ab. Die Elektroden müssen bekanntlich gleichartig sein, d. h. sie dürfen selbst durch ihre Berührung die Muskelsubstanz nicht schädigen, und — was für die zu verwendenden Flüssigkeitselektroden wichtig ist — sie dürfen mit den Muskelelektrolyten kein Contactpotential ergeben. Lässt sich dies nicht vermeiden, so ist Sorge zu tragen, dass es an beiden Elektroden gleich gross wird, und sich so durch seine entgegengesetzte Richtung annullirt. Lässt man dies ausser Acht, so vermischt sich das Potential einer künstlich erzeugten Flüssigkeitskette in uncontrolirbarer Weise mit dem des eventuellen Ruhestroms.

Für uns kommt folgender specieller Fall in Betracht: Wenn man zwischen zwei Elektrolyte einen dritten einschaltet, so wird,

wenn die beiden Elektrolyte in Bezug auf den mittleren geringer concentrirt sind, dieser entsprechend seinem Diffusionsgefälle und den entgegenstehenden „Reibungswiderständen“ in die angrenzenden Lösungen hineindiffundiren. Sind dabei die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen des mittleren Elektrolyten verschieden gross, so ertheilt das voraneilende schnellere Ion den Endlösungen seine Ladung, das zurückbleibende gibt der mittleren sein eigenes entgegengesetztes Potential. Dieser elektrostatische Zustand führt nicht zur Bildung eines „galvanischen Stromes“, wenn die Kette symmetrisch bleibt, wenn ich die beiden gleichconcentrirten Endlösungen zum Ring vereinige oder ohne Störung des elektrolytischen Gleichgewichts von ihnen ableite. Sind hingegen die beiden Endlösungen ungleich concentrirt, oder bieten sie verschiedene „Reibungswiderstände“ dar, so diffundirt der Mittelelektrolyt vorzugsweise in die verdünntere oder gangbarere Seite, und diese erhält dabei das Potential des schnelleren Ions. Sie erhält es in höherem Maasse als die concentrirtere Lösung, so dass nach Schluss der Kette die elektrostatische Differenz sich in einem Strom abgleichen muss, welcher so lange andauert, bis alle Concentrationen sich durch Diffusion ausgeglichen haben.

Die *E. K.* solcher Ströme lässt sich nach Formeln von Nernst u. A. leicht berechnen. Ihre Grösse ist im Wesentlichen der Differenz der Ionengeschwindigkeiten des mittleren Elektrolyten und dem Logarithmus der Concentrationsdifferenz der Erdelektrolyten proportional.

Auf die zahlreichen Varianten solcher Diffusionsketten kann ich hier natürlich nicht eingehen. Ich betone nur nochmals, dass bei der die Diffusionsgeschwindigkeit bestimmenden Concentrationsdifferenz es nicht nur auf die Differenz der osmotischen Partiardrucke der diffundirenden Ionen ankommt, sondern dass sogar das Vorhandensein eines Non-Elektrolyten in der einen Lösung von hemmendem Einfluss ist. Man macht sich, wie gesagt, die etwas gezwungene Vorstellung, dass die Diffusionsgeschwindigkeit und damit der eine Faktor für die Grösse der elektrischen Ladung durch „Reibungswiderstände“ bedingt wird, welche durch gelöste Elektrolyte, Non-Elektrolyte, ja sogar durch Colloide gesetzt sein können.

Nach diesen Andeutungen wird man also bei elektrometrischen Muskelversuchen sein Augenmerk darauf richten, dass die verwendeten Elektroden vorhandene elektrolytische Gleichgewichte nicht

stören, und dass die normalen oder durch absichtliche Schädigung entstandenen Muskelelektrolyte in symmetrischer Kettenanordnung liegen. Ganz ist dies bei einseitiger Schädigung des Muskels ja nie zu erreichen, falls die eine Elektrode in dem geschädigten Bezirk liegt. Denn in diesem Falle wird die hier vorhandene Säure — die wegen der starken Differenz ihrer Ionengeschwindigkeiten elektromotorisch vor Allem in Betracht kommt — zwischen Elektrodenflüssigkeit einerseits und normalen Gewebssäften des Muskels andererseits liegen. Diese sind aber der Diffusion gegenüber nicht durchaus gleichartig, wenn man als geeignetste Ableitungsflüssigkeit isotonische Kochsalzlösung benutzt. Man kann sich schon an Diffusionsketten mit einem Serumglied davon überzeugen. Das Contactpotential übersteigt jedoch hier einige Millivolt nicht. Auch zwischen normalen Froschmuskeln und 0,1 n. Kochsalzlösung kann man den Betrag wohl vernachlässigen. Dies geht besonders aus dem auf Seite 277 angeführten Versuche hervor: ein normaler, zwischen 0,1 n. und Aqua dest. eingeschalteter Muskel gibt bei ca. 0° nur geringfügige und unsichere *E. K.*, wenn man aus dem destillirten Wasser ebenfalls mit 0,1 n. Kochsalzlösung ableitet. Will man in bestimmten Fällen noch sicherer gehen, so dürfte es sich empfehlen, den frischen Muskel einige Zeit bei tiefer Temperatur in 0,1 n. Kochsalzlösung auszuwaschen.

Man sieht aus dem Gesagten, dass andererseits zwei Elektroden von möglichster Concentrationsdifferenz — z. B. 0,1 n. Kochsalz und Aqua dest. — in sicherer Weise darüber Aufschluss geben können, ob die durch das Wasser berührte Muskelstelle Elektrolyte von verschiedener Ionengeschwindigkeit enthält oder solche durch die Wassereinwirkung entstehen lässt. Auch die durch irgend eine andere Schädigung entstehenden elektrolytischen „Zerfallsproducte“ kann man natürlich auf diese Art nachweisen, falls sie Ionen von verschiedener Geschwindigkeit enthalten. Eine solche Kettenanordnung ist nämlich höchst empfindlich. Säurespuren z. B., deren Concentration unter der analytischen Nachweisbarkeit liegt, ergeben noch beträchtliche *E. K.*, Oker-Blom weist darauf hin und führt eine ganze Reihe von Beispielen an.

Wir können nunmehr zur Besprechung der Oker-Blom'schen Muskelversuche mit einer Wasserelektrode übergehen. Der Autor

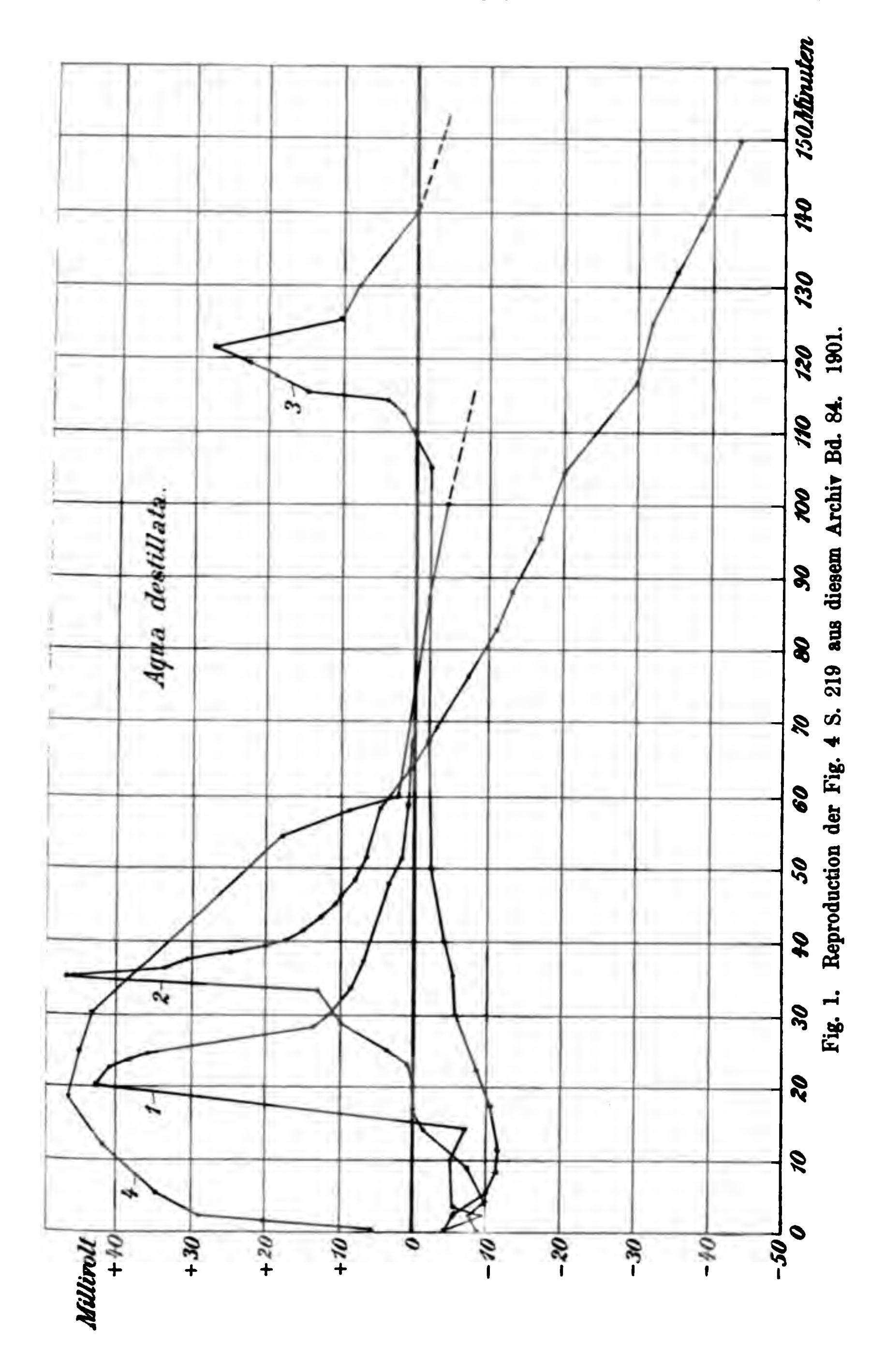


Fig. 1. Reproduction der Fig. 4 S. 219 aus diesem Archiv Bd. 84. 1901.

bildete folgende Kette (die Endglieder: Quecksilber und Calomel [als Depolarisator] sind fortgelassen):

		1		2		3		4		
I	KCl 0,1 n.	|	NaCl 0,1 n.	|	Muskel	|	Aqua destill.	|	KCl 0,1 n.	II

Es wirkte also einseitig reines Wasser auf den Muskel ein, und zwar befand sich dieses Wasser in einer „secundären Elektrode", in einem kleinen U-förmig gebogenen Glasröhrchen von etwa 2 ccm Inhalt. Das eine weite Ende dieses Röhrchens communicirte frei mit der KCl-Lösung der Normalelektrode, auf das andere etwa 1 mm weite Ende wurde der Muskel applicirt. (Vergl. das Original.)

Diese Kette liefert, wie der Verfasser bemerkt, an den Contacten 1, 2 und 4 keine wesentlichen Potentialdifferenzen. Nachweisbare Ströme haben also ganz vorwiegend bei 3 Ort und Ursache ihrer Entstehung.

Es wurden solche Ströme von wechselnder Richtung und wechselnder Spannung beobachtet. Ich glaube die Resultate der vier diesbezüglichen Versuche am einfachsten durch Abdruck von Oker-Blom's Curvendarstellung (Fig. 4 S. 219) wiedergeben zu können.

Die Dauer der Wassereinwirkung in Minuten ist auf der Abscisse abgetragen, die Ordinaten stellen das wechselnde Potential in Millivolt dar, wobei Negativität nach unten, Positivität nach oben von der Nulllinie gerechnet ist. Das Vorzeichen des Potentials ist auf die Kettenseite II, an der sich das destillirte Wasser befindet, bezogen.

Oker-Blom theilt die Curven 1—3 (die 4. Curve stammt von einem seit 24 Stunden todten Muskel und wird vom Autor selbst von der Betrachtung ausgeschlossen) in je vier Phasen ein, für deren Zustandekommen er folgende Erklärungen beibringt.

Die erste Phase besteht in allen Fällen in einer Negativität. (Das Vorzeichen des Potentials bezieht sich immer auf die Wasserelektrode.) Sie erklärt sich als Diffusionspotential der normalen Muskelelektrolyte in das Wasser, also vor Allem des Kochsalzes und geringer Mengen OH-Ionen.

Die zweite Phase beginnt mit dem Abnehmen der Negativität, welche dann mehr oder weniger plötzlich in eine Positivität umschlägt. Diese verdankt ihren Ursprung den durch die Wassereinwirkung aus der Fibrille entstandenen sauren Zerfallsproducten, deren sehr schnell wandernde Kationen die entgegengesetzte elektromotorische Wirkung der Kochsalzdiffusion bald übertreffen.

Schwieriger wird dem Autor die Erklärung der dritten Phase, des Wiederabnehmens der Positivität bezw. Uebergehens in eine lange bestehende Negativität. Er sagt, „dass dies zum Theil eine secundäre Erscheinung ist, die darauf begründet ist, dass das reine Wasser, welches ja in der secundären Elektrode aus etwa 2 ccm als Kettenglied bestand, im Laufe der Zeit verunreinigt worden ist, und zwar durch einwandernde Stoffe sowohl von Seite des Muskels als auch von der der Normalelektrode". Bei häufiger Wassererneuerung nahm nämlich die Positivität weniger stark ab, so dass die Curve die Nulllinie bisweilen nicht wieder erreichte. Eine weitere Erklärung findet sich dann in den Erörterungen auf S. 230. Der Verfasser sagt dort, „die zweite Negativität ist somit der Ausdruck eines entstandenen Demarcationsstromes, und wir sind folglich zu derjenigen Erscheinung am ruhenden Muskel gelangt, welche vorzugsweise zu der sogenannten animalischen Elektricität gerechnet worden ist, und welche nach der Hermann'schen Alterationstheorie in einem vom absterbenden nach dem noch unbetheiligten Theil des Muskels gerichteten Strom besteht."

Hier spricht Oker-Blom zum ersten Mal selbst die Vermuthung aus, dass er es mit einem Demarcationsstrom zu thun hat. Als Grund dafür führt er an, dass die Negativität nicht weiter zunimmt, wenn man den Muskel an der Stelle der Wassereinwirkung einschneidet. Dass ferner die Negativität vermindert wird durch Erneuerung des Wassers in der „secundären Elektrode", wobei also die am Muskel befindliche Säure wieder ein erhöhtes Diffusionsgefälle erhält und ihre, dem Demarcationsstrom entgegengesetzte elektromotorische Wirkung zur Geltung bringen kann.

Die vierte Phase endlich tritt, wie es mir scheint, nur dann ein, wenn das Wasser gar nicht erneuert wird. Sie besteht in einer Abnahme der Negativität (dritte Phase) bis zum Uebergang in Positivität, „welche sich dann zu entwickeln anfängt, wenn die Schädigung der Muskelsubstanz, die sich in einem Anschwellen und Trübwerden des Muskels kundgibt, so weit gegen Tibialende vorgerückt ist, dass in die Applicationsstelle der 0,1 n. NaCl-Lösung (I) erreicht. Dann wird die ganze intrapolare Muskelstrecke gleichförmig alterirt und mit sauren Zerfallsproducten versetzt sein, welche nunmehr in die beiden resp. Flüssigkeiten der secundären Elektroden eindringen können. Nach flachen Oscillationen um die Nulllinie gleichen sich die Potentialdifferenzen allmählich ganz aus."

Oker-Blom unternimmt nun eine Anzahl von Versuchen, in denen die eine secundäre Elektrode mit verschieden concentrirten Lösungen von KCl oder NaCl gefüllt ist. Dabei ergeben sich Aenderungen des Curvenverlaufes. Ferner wird festgestellt, dass, wenn man den Demarcationsstrom eines mit einer Wunde versehenen Muskels am Ort dieser Wunde mittelst der Wasserelektrode ableitet, dass dann seine *E. K.* bedeutend geschwächt erscheint, ja dass sich die gesetzmässige Richtung umkehren kann. Es concurriren hier eben das Potential des Demarcationsstromes und dasjenige der Säure-Wasserdiffusion in entgegengesetzter Richtung.

Ich muss gestehen, dass es mir unmöglich ist, die nun folgenden Erörterungen kurz zu referiren. Unsicher definirte Versuche und erzwungene Hypothesen sind so mit einander verflochten, dass ich auf die Lectüre des Originals verweisen muss. Hier kann ich nur wiedergeben, dass der Verfasser sich durch Versuche und Ueberlegungen zu der Annahme gedrängt sieht, dass „die membranartigen Hüllen der Fibrillen“ verschiedenartigen Schädigungen unterliegen können, und dass sowohl Stärke wie Richtung des Demarcationsstromes von der jeweiligen Art der Schädigung abhängig sind. Diese Anschauung wird nun nachträglich noch auf die „Wassercurven“ übertragen und die verschiedenen Phasen erhalten zum Theil eine neue ihr angepasste Deutung:

„Bezüglich der ersten Phase sei nur auf das früher Gesagte hingewiesen. Was dagegen die zweite Phase anbetrifft, so können wir den membranartigen Hüllen, welche die Zersetzungsstoffe der Muskelsubstanz und das reine Wasser von der unmittelbaren Berührung mit einander trennen, kaum eine gewisse Rolle absprechen, welche an der Gestaltung der Curve theilnimmt. Bei Application von Aqua dest. an einer Muskelwunde, wo also die entblösste Muskelsubstanz bezw. die daselbst entstandenen Zerfallsstoffe in unmittelbare Berührung mit dem Wasser kommen, ruft das Diffundiren dieser Stoffe in das Wasser nie eine so grosse, dem Demarcationsstrome entgegengesetzte Wirkung (Positivität der verletzten Stelle) hervor, wie dies bei denjenigen Versuchen der Fall ist, bei welchen natürliche Muskeloberfläche zwischen die Zerfallsstoffe und das Wasser resp. die sehr verdünnten KCl-Lösungen zu liegen kommt. Die Vermuthung ist nicht mehr von der Hand zu weisen, dass dies verschiedene Verhalten darin zu suchen ist, dass die genannten Hüllen selber nach einiger Zeit dauernder Einwirkung des Wassers etwas

geschädigt werden und nunmehr die elekropositiven Ionen, die H^+-Ionen der Milchsäure und die K^+-Ionen des doppelt sauren phosphorsauren Kalium durchtreten lassen, während die zugehörigen elektronegativen Ionen fortwährend zurückgehalten würden. Der Einfluss einer solchen vermutheten Eigenschaft der fraglichen Hüllen lässt sich in Uebereinstimmung mit dem Verhalten bei der Ferrocyankupfermembran leicht einsehen. Die elektropositiven Ionen H^+ und K^+ würden dann ihre, dem gesetzmässigen Demarcationsstrome entgegengesetzte Wirkung in besonders hohem Grade entfalten können, und zwar immer mehr, je verdünnter die Ableitungsflüssigkeit ist, in welche sie nach Durchdringung der Hüllen diffundiren werden. Das oben Angeführte wäre für das Verständniss der oft recht hochgradigen Positivität der zweiten Phase genügend."

„Mit der dritten Phase aber, dem Abnehmen der Positivität und dem Entstehen der zweiten Negativität sind wir bei dieser Eigenschaft der Hüllen noch nicht fertig. Indessen liegt die Vermuthung auch nicht ferne, dass die genannten Hüllen bei fortgesetzter Einwirkung des Wassers bezw. der verdünnten KCl-Lösungen selber allmählich weiter alterirt werden und schliesslich das Durchtreten nicht nur der H^+- und der K^+-Ionen, sondern auch das der resp. elektronegativen Ionen der Zerfallsstoffe ebenso gestatten würden. Der daher rührende Einfluss auf die Positivität lässt sich ohne Weiteres einsehen. Wir kommen dann zu einer Anordnung, welche derjenigen analog ist, bei welcher die eine Ableitungsflüssigkeit mit den Zerfallsstoffen in unmittelbarer Berührung steht, wie es beim Ableiten von einer Muskelwunde der Fall ist."

Ueber das Wesen des Demarcationsstromes sagt später der Autor noch: „Durch die obigen Versuche haben wir somit gefunden, dass die elektromotorischen Erscheinungen am ruhenden Froschmuskel mit den Erfordernissen der physikalischen Chemie sich in gutem Einklang befinden und zwar, dass sie als Begleiterscheinungen des Diffundirens der bei jeder Schädigung der Muskelsubstanz entstehenden sauren Zerfallsproducte von dem geschädigten gegen den nicht geschädigten Theil des Muskels, d. h. als Diffusionsströme aufzufassen sind." An dieser Stelle wird nun aber doch gleich betont, dass es sich nicht um „ganz einfache chemische Concentrationsketten" handeln kann. Der Autor kann sich nicht verschweigen, dass der Muskel schon gleich nach Anlegen eines Querschnittes Demarcationsströme an weit entfernten Stellen zeigt, welche durch diffundirende

Stoffe unmöglich erreicht sein können. „Diese bis auf den heutigen Tag noch ziemlich unübersehbare Thatsache," fährt er fort, „wird ja bekanntlich mit der Reizbarkeit der lebendigen contractilen Substanz in Zusammenhang gebracht, wobei die der Verletzung näher gelegene Stelle in höherem Grade als die entferntere sich im Reizungszustande befindet bezw. Zerfallsstoffe entstehen lässt, welche nunmehr den Erfordernissen der physikalischen Chemie unterliegen und von entsprechenden elektromotorischen Erscheinungen begleitet werden."

Am Schlusse der Arbeit pflichtet Oker-Blom der Hermannschen Alterationstheorie theilweise bei, sieht sich aber genöthigt, die Regel in einer Form auszusprechen, welche nach seiner Ansicht wieder „im Einklang mit den Erfordernissen der physikalischen Chemie" steht. Diese zusammenfassende Formulirung der Untersuchungsergebnisse mag noch citirt werden:

„Die specifischen Muskelelemente besitzen die Eigenschaft, auf jede Schädigung bezw. Vernichtung mit der Entstehung von Zerfallsproducten zu antworten, deren elektropositive Ionen im Vergleich mit den zugehörigen elektronegativen mit besonders grossen Wanderungsgeschwindigkeiten begabt sind. Der als Begleiterscheinung hieraus entstehende Demarcationsstrom ist als ein Diffusionsstrom aufzufassen, dessen Richtung und scheinbare elektromotorische Kraft, wie überhaupt dessen nähere Erscheinungsweise secundären Einflüssen unterliegt, welche in mancherlei Beziehung von der Art der Ableitung herrühren. Unter diesen Einflüssen sind die der lebenden Hüllen, welche eventuell zwischen den Zerfallsstoffen und den resp. Ableitungsflüssigkeiten zu liegen kommen, sowie die Concentration dieser zu nennen. Die lebenden, ganz ungeschädigten Hüllen scheinen in hohem Grade dem Durchtreten der Zerfallsstoffe zu widerstehen, und in diesem Zustande der beiden Ableitungsstellen hat der vorhandene Demarcationsstrom seinen grössten Werth und die Richtung vom geschädigten resp. stärker geschädigten Theil den Fibrillen entlang nach dem nicht bezw. weniger geschädigten, wobei jene sich also negativ gegen diese zeigt. Dasselbe Verhalten trifft zu, sobald die umgebenden Hüllen an der verletzten Muskelstelle in dem Maasse geschädigt worden sind, dass beide Ionen der Zerfallsstoffe sie durchdrungen haben, resp. die eine Ableitung vom entblössten Fibrilleninhalte einer Wunde geschieht; nur erscheint die elektromotorische Kraft des Demarcationsstroms dann etwas mehr beein-

trächtigt. Zwischen diesen beiden Zuständen der resp. Hüllen kommt eine Schädigungsstufe derselben vor, bei der sie für die elektropositiven Ionen der Zerfallsstoffe durchdringbar sind, während sie den entsprechenden elektronegativen noch unübersteigbare Hindernisse darbieten; und bei diesem Zustande der Hüllen erscheint die elektromotorische Kraft des Muskels am geringsten, und es kann sogar die Richtung des Demarcationsstroms unter Umständen anscheinend die verkehrte sein, d. h. die geschädigte Muskelstelle kann sich gegenüber einer ungeschädigten positiv verhalten."

Nach den einleitenden Vorbemerkungen ist mein Standpunkt den Oker-Blom'schen Versuchen und Deutungen gegenüber schon einigermaassen charakterisirt. Das, was man als eine bisher unerklärte Erscheinung der „thierischen Elektricität" als Demarcationsstrom bezeichnet hat, ist dem Verständniss meines Erachtens in keiner Weise näher gerückt, dafür aber mit heterogenen elektromotorischen Wirkungen vermengt, welche durch Säuren und desshalb auch durch saure Zerfallsstoffe sterbender Muskeln als Glieder ganz bestimmter Flüssigkeitsketten erzeugt werden können.

Es ist sonderbar, dass es dem Autor schon bei den ersten Versuchen gar nicht Bedenken erregte, dass er von einem seit 24 Stunden abgestorbenen Muskel mit Hülfe seines „Ketteninstruments" eine Potentialcurve erhielt, die ja (natürlich mit Ausnahme der ersten) die Phasen der „Wassercurve" mit ganz ähnlichen zeitlichen Verhältnissen zeigt, wie sie die lebenden Muskeln gaben. Unmöglich wird doch Oker-Blom bei dem todten Gewebsstück noch von Alterationsströmen reden wollen; er schliesst den Fall eben einfach von der Betrachtung aus. —

Durch Diffusion von sauren oder anderen „Zerfallsproducten" eines Muskels kann niemals ein elektrischer Strom entstehen, solange sich diese Producte in symmetrischer Kettenstellung befinden. Wenn man zugibt, dass 0,1 n. Kochsalzlösung für Säuren ungefähr den gleichen Diffusionswiderstand bietet wie normale Gewebssäfte des Muskels, so muss man auch zugeben, dass ein Ruhestrom, welchen man mit 0,1 n. Kochsalzelektroden von Querschnitt und unverletzter Oberfläche ableitet nie und nimmer durch einseitig bevorzugte Diffusion der am Querschnitt liegenden sauren Zerfallsproducte entstehen kann. Dass die 0,1 n. Kochsalzlösung und die normalen Muskelsäfte in dem genannten Sinne wirklich einigermaassen gleich-

artig sind, habe ich schon oben (S. 256) dargethan. Hier füge ich zur weiteren Bestätigung noch hinzu, dass man bekanntlich von einer Muskelwunde mit quantitativ und qualitativ gleichem Erfolge mittelst eines frischen stromlosen Muskels an Stelle der Kochsalzelektrode ableiten kann. Hier aber liegen doch die sauren Elektrolyte beiderseits zwischen normalen Muskelsäften. Man kann doch ferner einen Muskel in der Mitte quer durchschneiden, die Hälften in der ursprünglichen Lage wieder an einander legen und nun sofort mittelst beiderseits von der Schnittfläche angelegten Kochsalzelektroden Ströme nachweisen, wenn die Elektroden nicht zufällig symmetrisch zum Schnitt liegen. Solche „Ketten" sind aber gewiss im elektromotorischen Sinne „symmetrisch" und also stromlos.

„Demarcationsströme" sind eben nicht solche, die ich durch Anlegung von differenten Elektroden erzeuge, sondern es sind nur die Ströme, welche den Protoplasten dauernd durchfliessen, solange noch ein Theil von ihm „lebt". Der angelegte Schliessungsbogen soll lediglich einen Theil dieser Ströme zum Nachweis oder zur Messung ableiten. Und desshalb müssen ja eben die Elektroden möglichst indifferent und elektromotorisch gleichartig sein. Benutze ich verschiedenartige Elektroden, so ist das ungefähr so, als wenn ich zum Nachweis einer Potentialdifferenz im äusseren Schliessungsdraht irgend eines Elementes Flüssigkeitselektroden aus verschiedenen Salzen oder in verschiedener Concentration anlegen wollte. Damit kann ich doch in jedem stromlosen Drahtstück Ströme „nachweisen".

Die einzige Erklärung, welche Oker-Blom für das charakteristische Merkmal eines wirklichen Demarcationsstroms — das Auftreten von Strömen, wenn beide Elektroden in unverletztem Gebiet liegen — hat, ist die, dass die Verletzung „bekanntlich" den ganzen Muskel in den Zustand der „Reizung" versetzt, dass die Reizung und damit die Bildung von Zerfallsstoffen an verschieden entfernten Stellen verschieden stark ist, und dass die Zerfallsstoffe bei ihrem Diffusionsausgleich elektromotorisch wirken. Die Hypothese eines undefinirbaren „Reiz-Zustandes" hat sich schon oben (S. 248) als sehr unwahrscheinlich erwiesen. Und wenn sie richtig wäre, so lieferte sie nur wieder saure „Zerfallsstoffe", die zwischen gleichartigen Kochsalzelektroden keinerlei elektrokinetische Effecte erzeugen können.

Der Oker-Blom'sche Versuch, dass man einen Querschnitt-Längsschnittstrom compensiren oder übercompensiren kann, wenn

man den Querschnitt durch reines Wasser oder sehr verdünnte Salzlösungen ableitet, kann nur beweisen, dass man bei günstiger Kettenanordnung mittelst der sauren Zufallsproducte todter Gewebe ein Diffusionspotential erzeugen kann, welches dasjenige des Ruhestromes unter Umständen übertrifft. Oker-Blom findet nun, wie auf Seite 260 citirt, dass die „Uebercompensation" des Ruhestromes bei Wasserableitung von wasserstarren Muskelstellen viel stärker ausfällt, als bei Wasserableitung aus der Wunde und zieht daraus die angeführten Schlüsse über verschiedene Durchlässigkeitsstadien der Fibrillenmembran. Ich halte diese Schlüsse für ganz unzulässig. Es wird sich nämlich später zeigen, dass die durch partielle Wasserbehandlung zu erzielenden echten Demarcationsströme immer ausserordentlich viel schwächer sind als die bei partieller mechanischer Verletzung beobachteten, trotzdem auch das Wasser starke Säureentwicklung herbeiführt. Daraus ergibt sich ohne die Hypothese von „Ionen-Sieben" bestimmter Art, dass die „Uebercompensation" bei partieller Wasserstaue stärker ausfallen wird als bei partieller mechanischer Verletzung.

Trotz dieser vielfachen principiellen Bedenken, mit deren Vermehrung ich den Leser nicht länger ermüden will, habe ich die Oker-Blom'schen Wasserversuche mit ihren eigenthümlichen vier Phasen nachgeprüft. Denn gerade diese sonderbaren Potentialwechsel sind für den Autor ja eine so wesentliche Stütze bei den kühnen Hypothesen über verschiedene Durchlässigkeitsphasen der Fibrillenmembran mit allen daraus hergeleiteten Folgerungen. Das Experiment wurde aber anders und, wie ich glaube, sachgemässer ausgeführt, aus folgenden Gründen.

Zunächst halte ich die kleinen 2 ccm haltenden secundären Wasserelektroden, wie sie Oker-Blom verwendete, für sehr unzweckmässig. Stehen sie doch mit dem 0,1 n. KCl einerseits und den Muskelkräften andererseits in freier Communication. Ihr Flüssigkeitsinhalt kann sich ausserdem bei Bewegungen schnell durcheinander mischen, so dass man schliesslich niemals weiss, wie weit man es noch mit „reinem Wasser" oder mit einer Mischung verschiedener Elektrolyte zu thun hat. Von dieser Kenntniss hängt ja aber gerade die ganze Deutung der Versuchsergebnisse ab. So spielen denn auch bei Oker-Blom die Möglichkeiten von Elektrodenverunreinigung, Permeabilitätswirkungen u. s. w. bunt durcheinander. Ich wundere mich auch, dass den Verfasser der zeitlich

doch so ganz verschiedene Verlauf, noch die wechselnde Form seiner Wassercurve (vgl. Fig. 1) nicht stutzig gemacht haben. Ich würde dabei eher an Unsicherheiten in der Constanz der Versuchsbedingungen, als an eine von Oker-Blom zur Erklärung herangezogene verschiedene Reactionsfähigkeit der Muskeln gedacht haben.

Um die Potentialschwankungen zu verfolgen, welche sich zwischen Muskel und berührender Flüssigkeit abspielen, müssen wir vor allen Dingen dafür sorgen, dass die Flüssigkeit während des Versuchs möglichst unverändert bleibt. Das ist mit den kleinen „secundären

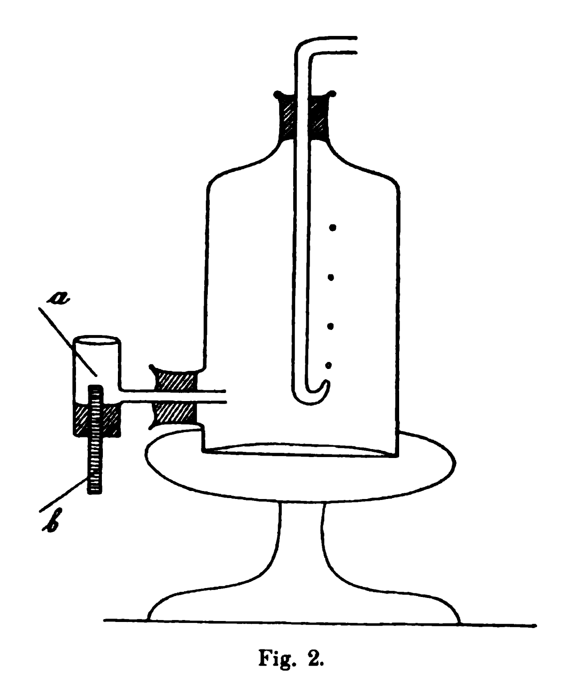


Fig. 2.

Elektroden" von 2 ccm Inhalt gar nicht zu erreichen. Aber auch die Benutzung von grösseren ca. 50 ccm fassenden Schälchen, in welche man die Muskel zum Theil eintauchen lässt, während ein 0,1 n. Kochsalz-Gelatineröhrchen aus der Flüssigkeit ableitet, führt noch zu keinen gleichmässigen Ergebnissen. Es bildet sich eben um das eintauchende Muskelstück herum allmählich eine „verunreinigte" Wasserschicht, und das Potential unterliegt grossen Schwankungen, wenn diese Schicht — etwa durch Unruhe des Muskels — in Bewegung geräth, oder das Wasser erneuert wird.

Erneuerung der Ableitungsflüssigkeit ist nicht zu vermeiden; sorgt man dafür, dass sie continuirlich verläuft, so lässt sich dass

Diffusionsgefälle zwischen Muskel und Flüssigkeit von Seiten der letzteren her einigermaassen constant halten.

Aus diesen Gründen construirte ich mir eine besondere „Spülelektrode“ (Fig. 2).

Sie besteht, wie die Skizze zeigt, aus einer doppelt tubulirten Flasche, in deren oberen Tubus luftdicht ein Glasröhrchen eingesetzt ist. Das Rohr trägt oben ein Stück Gummischlauch mit Schraubenquetschhahn und ist unten umgebogen und in eine feine Spitze ausgezogen. In den unteren Tubus der Flasche ist das dünne Rohr eines T-Rohres (*a* Fig.) eingesetzt; in das weite Rohr dieses T-Stückes heftet unten ein Gummistopfen ein kurzes, mit einer 10 %igen Auflösung von Gelatine in 0,1 n. Kochsalzlösung vollgegossenes Glasröhrchen (*b* Fig.). Die Flasche wurde mit 0,0001 n. Kochsalzlösung gefüllt und der Quetschhahn so regulirt, dass sie nach dem Mariotte'schen Princip mit gleichmässiger Geschwindigkeit über den oberen weiten Rand des T-Rohres in ein untergestelltes Schälchen abfloss. Gleichmässigen Abfluss erzielt man durch einen über den Rand gehängten Baumwollfaden.

Der Inhalt der Flasche betrug $^1/_2$ Liter, und der Quetschhahn wurde gewöhnlich so regulirt, dass die Flüssigkeit in etwa 24 Stunden auslief.

Zum Versuch wurde der Muskel — es kamen nur ganz frische Sartorien zur Verwendung, die sich bei genauer Prüfung in allen Theilen praktisch als stromlos erwiesen hatten — nun mit einem Ende mit anhaftendem Knochenstück über eine Oker-Blom'sche Pinselelektrode gehängt, und diese dann so placirt, dass das untere Muskelende (etwa die Hälfte) frei in die 0,0001 n. Kochsalzlösung der Spülelektrode eintauchte. Für die ganze Dauer eines Versuches wurde dann nichts mehr an der Aufstellung geändert, so dass immer ein möglichst gleich grosser Muskelabschnitt von der Ableitungsflüssigkeit umspült blieb.

Die zur Ableitung von mir benutzten Ostwald'schen Normalelektroden enthielten, wie bereits erwähnt, eine 0,1 n. Kochsalzlösung. Die untere hatte die Form eines weithalsigen Fläschchens und war durch einen ganz kurzen mit 0,1 n. Kochsalz gefüllten Gummischlauch mit dem Gelatineröhrchen der Spülelektrode verbunden.

Wir hatten also folgendes Kettenschema:

I.	NaCl 0,1 n.	NaCl 0,0001 n.	Muskel	NaCl 0,1 n.	NaCl 0,1 n.	II.

Die Kette ist nach den obigen Ausführungen praktisch stromlos, so lange der Muskel noch keine Zerfallsstoffe gebildet hat. Alle zur Beobachtung kommenden Potentialdifferenzen rühren also nur von den Elektrolyten her, welche der Muskel im Verlauf der Einwirkung von 0,0001 n. Kochsalzlösung bildet. Ich erinnere hier daran, dass Oker-Blom's Elektroden mit 0,1 n. KCl-Lösung gefüllt waren, so dass bei ihm von vornherein die normalen Muskelelektrolyte gegen das Wasser eine starke, nicht compensirte Potendialdifferenz ergaben, und dass ausserdem an der Contactstelle von KCl- und NaCl-Lösungen eine geringe Stromquelle lag.

Das folgende erste Beispiel, welches ich den Protokollen entnehme, ist noch so angestellt, dass der stromlose Sartorius oben auf einem 0,1 n. NaCl-haltigen Pinsel der Normalelektrode hing, während seine untere Hälfte in ein Schälchen mit ca. 40 ccm Aqua dest. eintauchte. Eine mit 0,1 n. NaCl-Gelatine gefülltes Röhrchen leitete aus dem Schälchen ab.

Versuch 19.

19. Mai 1903. 8h 40′ a. m. Zimmertemperatur 19—22°. Das Potential (+ oder —) bezieht sich auf die Wasserseite der Kette.

Minuten:	1	2	5	10	15	30	40		40
Millivolt:	+ 24	+ 28	+ 32	+ 35	+ 38	+ 37	+ 34	(+ 45)	+ 56
Minuten:	50	60	80	100	120		120	190	235
Millivolt:	+ 52	+ 52	+ 48	+ 52	+ 46	(+ 56)	+ 66	+ 56	+ 55,5
Minuten:	250	255.							
Millivolt:	+ 59	+ 64.							

Das Wasser des Schälchens wird durch 0,1 n NaCl-Lösung ersetzt:

Minuten:	5 sec.	5′	10	20	35	65	90
Millivolt:	± 0	— 5	— 7	— 10	— 11,5	— 10,5	— 10

. Versuch abgebrochen.

Wie man sieht, ergibt die Ableitung eines Muskels durch ein einigermaassen grosses Wasserquantum eine dauernde (bis 255 Min.) Positivität der Wasserseite. Die Potentialablesungen der ersten 10—20 Minuten sind sehr erschwert dadurch, dass der Muskel bei der Wassereinwirkung in unregelmässige Contractionen verfällt, welche die Quecksilbersäule des Elektrometers fortwährend auf und ab treiben; man muss einen Moment der Ruhe bei der Compensation zu erhaschen suchen. Diese Contractionen sorgen übrigens gleichzeitig dafür, dass die benetzende Wasserschicht in Bewegung bleibt und dadurch eine einigermaassen constante Concentration erhält.

Die Curve zeigt daher in dieser Periode auch immer einen ziemlich glatten Verlauf. Dies ist nicht mehr der Fall, sobald der Muskel zur Ruhe gekommen ist (vgl. Curve 19 in Fig. 3). Von welcher Bedeutung hier die Stagnation des Wassers ist, zeigt sich bei seiner Erneuerung. Das geschah bei den Zeiten 40 und 120 Minuten des angeführten Protokolls. Man sieht in beiden Fällen eine plötzlich starke Zunahme der Potentialdifferenz, und das erklärt sich ungezwungen ein Mal aus der plötzlichen Erhöhung des Concentrationsgefälles durch die Wassererneuerung und weiter dadurch, dass bei dieser Manipulation der Muskel für kurze Zeit die Flüssigkeit verliess, wobei ja die continuirlich entstehenden Zerfallsproducte Zeit haben, sich etwas anzureichern. In der graphischen Darstellung ist in den Fällen der Wassererneuerung der im Protokoll unter die Klammer geschriebene Mittelwerth benutzt.

Etwas überraschend war für mich das Ergebniss, dass ich bei Ableitung des ausgewässerten Muskelendes durch isotonische Kochsalzlösung nach kurzer Zeit eine mässige Negativität dieses Endes erhielt: es muss sich hier um einen echten Demarcationsstrom handeln. Ich werde später darauf zurückkommen.

Der vorstehende Versuch ist noch als unrein zu betrachten, wie die Potentialsprünge bei Wassererneuerung darthun. Besser definirt sind Versuche mit Spülelektroden. Ich führe zwei Beispiele an.

Versuch 20.

21. Mai 1903. Zimmertemperatur 20—22°. Das Potential bezieht sich auf die Seite der mit 0,0001 n. NaCl gefüllten Spülelektrode.

Minuten:	1	2	5	10	15	20	25	50
Millivolt:	+ 11	+ 15	+ 22	+ 33	+ 34,5	+ 32,5	+ 31,5	+ 31,5
Minuten:	80	95	110	125	140	155	170	185
Millivolt:	+ 30	+ 30	+ 29	+ 27	+ 24	+ 23	+ 20	+ 19,5
Minuten:	200	215						
Millivolt:	+ 20,5	+ 20						
Stunden:	5¼	6¼	7¼	16¼	19¼			
Millivolt:	+ 19	+ 15	+ 25	+ 37	+ 51			

Versuch 33.

29. Mai 1903. Zimmertemperatur in maximo 25°.

Minuten:	3	5	10	15	20	25	30	40
Millivolt:	+ 20	+ 24	+ 33	+ 40	+ 44,5	+ 42,5	+ 40	+ 36
Minuten:	50	60	70	80	90	170	210	
Millivolt:	+ 33	+ 30	+ 28	+ 26	+ 24,5	+ 19,4	+ 19	

Stunden:	4	4½	5	5½	6	6½	7	7½
Millivolt:	+ 18	+ 17	+ 24	+ 29	+ 34	+ 35	+ 45	+ 40
Stunden:	8	8½	9	16	22½	23½	24½	
Millivolt:	+ 44	+ 45	+ 48	+ 50	+ 48	+ 63	+ 64	

Man sieht, die Curven, welche sich auch hier bis zur Versuchsdauer von 24½ Stunden immer oberhalb der Nulllinie halten, verlaufen viel regelmässiger. Auffallend ist eine allmähliche Senkung des Potentials, die zwischen der 4.—6. bezw. 3.—5. Stunde ihr Maximum erreicht, um dann wieder anzusteigen. Möglich ist, dass hier eine Andeutung der „2. Phase" der Oker-Blom'schen Wassercurven vorliegt. Allerdings fiel bei diesem Forscher das Potential sehr plötzlich bis zur Nulllinie ab und zwar schon nach Verlauf von 20 bezw. 35 Minuten, in dem dritten Versuch nach 2 Stunden.

Ich vermuthe, dass der Verlauf meiner Curven etwa auf folgende Weise zu Stande kommt: Beim Eintauchen in die sehr stark hypotonische Kochsalzlösung werden die direct benetzten oberflächlichen Fibrillen schnell ad maximum „geschädigt" und entwickeln in hoher Concentration ihre sauren Zerfallsstoffe. Dem entspricht die Steilheit des ersten Potentialanstiegs, für den ja nicht die Menge der diffundirenden Elektrolyte, sondern der Grad ihrer localen Concentration maassgebend ist. Die spülende Elektrodenflüssigkeit schafft nun aber diese oberflächlichen Zerfallselektrolyte schnell fort, während gleichzeitig die fortschreitende Schädigung der tieferen Muskelpartien nur langsam vor sich geht, entsprechend dem innerhalb des Muskels nur langsam durch Diffusion sich abspielenden Concentrationsausgleiches. Hierbei können ersichtlicher Weise nicht mehr so plötzliche, eine hohe *E. K.* bewirkende Concentrationssprünge auftreten. In ähnlicher Weise mag der langsame Potentialfall auch dadurch begünstigt werden, dass die Zerfallsstoffe des ganzen, direct in's Wasser eintauchenden Muskelstücks allmählich ausgewaschen werden. Nun findet nur noch ein Weiterkriechen der Wasserschädigung in den ausserhalb der Flüssigkeit befindlichen Muskeltheil hinein statt, und da dies wieder nur auf dem langsamen Wege der Diffusion geschieht, so sind auch hier keine sehr plötzlichen Concentrationssprünge mehr zu erwarten.

Viel wichtiger aber und mit Sicherheit nachweisbar ist ein anderes Moment, welches jede „Ionen-Sieb"-Hypothese überflüssig macht, für die Erklärung der mittleren Curvensenkung. Sie beruht einfach darauf, dass sich zu dieser Zeit ein Demarcationsstrom von

allmählich zunehmender Stärke entwickelt, und dass dessen entgegengesetztes Potential die *E. K.* der Säurediffusion mehr und mehr compensirt. Der Demarcationsstrom wird wieder schwächer, je mehr sich die Wasserschädigung successive über den ganzen Muskel ausbreitet, desshalb steigt die „Wassercurve“ gegen Schluss wieder bis auf eine nie erreichte Höhe an.

Dass diese Auslegung zutreffend ist, lässt sich auf folgende Weise beweisen.

Man lege den einen von zwei Sartorien ganz in's Wasser und hänge den zweiten gleichzeitig zur Hälfte in eine „Wasserelektrode“. Nach Verlauf von 2 Stunden möge der letztere Muskel ein „Wasserpotential“ von + 20 Millivolt zeigen, während der erstere bei Ableitung mit 0,1 n. Kochsalz und mit Wasser 40 Millivolt Spannung ergibt. Legt man jetzt zu dieser Zeit den Halbwassermuskel ganz in 0,1 n. Kochsalzlösung und unterbricht so die weitere Wasserschädigung, so kann man nach wenigen Minuten durch symmetrische Kochsalzableitung einen gesetzmässigen Demarcationsstrom nachweisen. Die *E. K.* dieses Stroms hat nun immer ungefähr einen derartigen Betrag, dass, wenn man sie von dem Säurepotential des ersten ganz wasserstarren und daher demarcationsstromfreien Muskels subtrahirt, sich ein positiver Rest ergibt, welcher dem Diffusionspotential des Halbwassermuskels von 20 Millivolt annähernd gleich kommt. Nur ein geringes, meist vorhandenes Deficit bedürfte also der vorhin gegebenen ersten Erklärung.

Damit ist also schon die Erklärung des endlichen bedeutenden Wiederanstiegs der „Wassercurve“ gegeben. Der Muskel stirbt — wobei die fortschreitende Wasserquellung begünstigend wirkt — allmählich ganz ab und verliert jede Spur von Demarcationsstrom. Bemerkenswerth ist, dass das Wiederansteigen der Curve an heissen Tagen früher eintrat als an kühlen. Selbstverständlich waren die Muskeln schon nach etwa 5 Stunden bis an das obere Ende trübe, geschwollen und rigid. Elektromotorisch wirksam bleiben sie desshalb doch, so lange noch elektrolytische Concentrationsdifferenzen vorhanden sind.

O k e r - B l o m scheint sich darüber nicht ganz klar zu sein. Er schreibt: „Wenn das Wasser während der ganzen Versuchsdauer nicht erneuert wird, tritt die Curve zuletzt noch in eine vierte Phase, in ein Abnehmen der zweiten Negativität, welche sich dann zu entwickeln anfängt, wenn die Schädigung der Muskelsubstanz, die

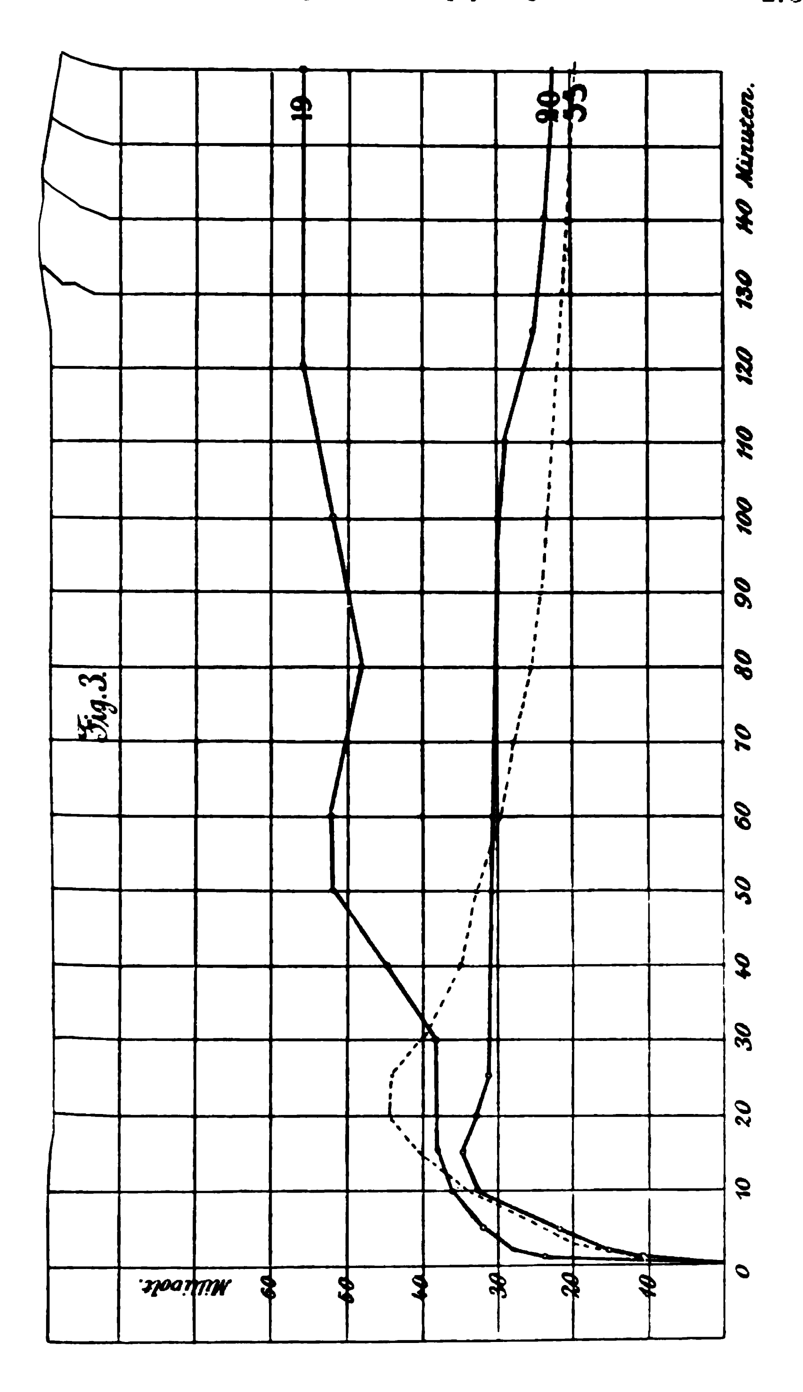
sich in einem Anschwellen und Trübwerden des Muskels kundgibt, so weit gegen das Tibiaende vorgerückt ist, dass sie die Applicationsstelle der 0,1 n. NaCl-Lösung erreicht. Dann wird die ganze intrapolare Muskelstrecke gleichförmig alterirt und mit sauren Zerfallsproducten versetzt sein, welche nunmehr in die beiden resp. Flüssigkeiten der secundären Elektroden eindringen können. Nach flachen Oscillationen um die Nulllinie gleichen sich die Potentialdifferenzen schliesslich ganz aus."

Dass der ganze Muskel zwischen den Elektroden gleichmässig alterirt ist, thut für das Diffusionspotential gar nichts zur Sache. Bei den „Wassercurven" handelt es sich eben gar nicht um „partielle Schädigung" wie bei den Demarcationsströmen. Am besten geht das ja daraus hervor, dass ein Muskel, der in etwas reinem Wasser vollständig abgestorben ist, das maximale Potential meiner Curvenenden gibt, wenn man ihn zwischen 0,1 und 0,0001 n.-Kochsalzlösung schaltet. Er wirkt einfach wie ein Säure-Gelatinekörper. Die Schuld daran, dass Oker-Blom's Curve in „flachen" Oscillationen um die Nulllinie endet, wo sie bei mir noch im vollen Steigen begriffen ist, kann er nur seiner unzureichenden Methode mit den verunreinigten secundären Elektroden zuschreiben. Eine Discussion der übrigen Oker-Blom'schen Curvenphasen, soweit sie von den meinigen abweichen, würde immer wieder auf diesen Punkt stossen. Ich glaube sie dem Leser ersparen zu dürfen.

In nachstehender Figur gebe ich die Anfänge der Wasserpotentiale der drei angeführten Versuche in graphischer Darstellung. Sie mögen zum Vergleich mit der Oker-Blom'schen Figur (S. 257) dienen. Es sind desshalb die gleichen Abscissen- und Ordinateneinheiten (Minuten und Millivolt) gewählt. Die den Curven angeschriebenen Zahlen bedeuten die Versuchsnummern.

Zu bemerken wäre nur noch über den abweichenden Verlauf der Curve 19, dass ihre bedeutendere Höhe in der Hauptsache durch die Ableitung mit „reinem" Wasser erklärt wird. Ihre sonstigen Unregelmässigkeiten zeigen, wie viel zweckmässiger es ist, eine „Spülelektrode" zu verwenden.

Ich glaube in den vorstehenden Zeilen dargethan zu haben, dass es nicht statthaft ist, elektrische Ströme, welche man durch Verwendung von todten oder lebenden Muskeln als Flüssigkeitsketten-Glieder erhalten kann, mit Demarcationsströmen zu verwechseln, oder überhaupt als „thierisch-elektrische" Erscheinungen zu betrachten.


Fig. 3.
19
20
55
Millivolt.
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140 Minuten.

Muskelelektroden sollen vorhandene Ströme nachweisen, nicht Ströme erzeugen.

Es ist ja altbekannte Sache, dass partielle Wasserstarre nur zögernd und unbedeutend Ruhestrom-entwickelnd ist. Und doch ist es bekannt, dass die Wasserstarre „schädigt“, dass die Fibrille durch den osmotischen Druck ihres Inhaltes stark aufgetrieben wird, bis — so müssen wir wohl annehmen — die übermässig gespannte Membran schliesslich in irgend einer Art defect wird und ihre relative Semipermeabilität einbüsst. Ob Verlust der Semipermeabilität eine Ursache oder eine Folge des Protoplastentodes ist, wissen wir nicht. Ob es gelingt, durch partielle Wasserbehandlung einen Muskel auf osmotischem Wege partiell zu tödten, scheint mir fraglich und bei Anwendung tiefer Temperaturen unwahrscheinlich. Dazu würde vielleicht eine so langdauernde Einwirkung des Wassers erforderlich sein, dass es inzwischen durch Diffusion sich über den ganzen Muskel verbreitete, bevor noch der Ort der ersten Einwirkung „todt“ ist. Derartig todt, dass er mit dem noch lebenden Fibrillenrest einen beträchtlichen Demarcationsstrom bilden kann.

Sicher ist, dass Muskeln durch Wasserbehandlung nach mehr oder weniger langer Zeit sauer werden. Wir müssen wohl annehmen, dass diese Säure aus Stoffen des Fibrilleninhaltes — etwa den Kohlehydraten — stammt, dass sie also die Fibrillenmembran durchwandern kann, ohne sie zu „tödten“. Denn wir kennen ja keine Art von partiellem Fibrillen-Tod ohne gleichzeitigen Demarcationsstrom, und andererseits ist es bekannt, dass wasserstarre Muskeln durch Kochsalzbehandlung wieder leidlich erregungsfähig werden. Bekannt ist ja auch, dass Muskeln nach starkem natürlichem Tetanus, z. B. nach Strychninkrämpfen, sauer reagirend befunden werden.

Das ist gegenüber den allgemeinen Erfahrungen über Protoplastenpermeabilität auffallend; zumal auch die Muskelfibrille durch Behandlung mit Säure von der gleichen Concentration wie die von ihr gebildete rasch und heftig geschädigt wird, so, dass sie ihre Contractilität auch durch Kochsalzbehandlung nicht wieder erlangt. Ich habe mehrfach den Versuch gemacht, das Säurediffusionspotential, welches man bei einseitig durch Wasser abgeleiteten Muskeln erhält, zu compensiren, indem ich Milchsäure in wechselnder Concentration dem Elektrodenwasser zufügte. Diese Compensation gelingt ziemlich scharf, und zwar ist bei Wasserpotentialen von ca. 30 Millivolt eine Säureconcentration von ca. 0,0005 bis 0,0006 Normalität erforderlich.

Bei solchen Compensationsversuchen fällt aber sofort auf, dass der Grad der Compensation nicht, wie man erwarten müsste, der zunehmenden Säureconcentration der Elektrode proportional zunimmt. Es zeigt sich vielmehr, dass Concentrationen, die mehr weniger unter 0,0005 n. liegen, überhaupt kaum wirken. Bei 0,0005 liegt aber gleichzeitig ungefähr die Grenze, in der Säuren auf Muskeln merklich schädigend wirken.

Wendet man z. B. zur Ableitung eines stromlosen Muskels 0,1 n. NaCl-Lösungen an, deren einer man Milchsäure oder andere Säuren zugesetzt hat, so entwickeln sich schon bei der Concentration 0,0005 n. nach wenigen Minuten Demarcationsströme bis zu 19,5 Millivolt Spannung. Isotonische Kochsalzlösungen vermag sie nicht mehr zu beseitigen.

Nach solchen Erfahrungen wird man es kaum mehr wagen, in dem obigen Versuche an eine Compensation des H^+-Ionengefälles zu denken. Denn wenn man sich Säurediffusionsketten baut, indem man säurehaltige Gelatinekörper mit 0,1 n. Kochsalz einerseits und Wasser andererseits ableitet, so zeigt sich, dass man Säureconcentrationen anwenden muss, welche die Normalität 0,0005 bis zum 100fachen übersteigen, um elektromotorische Wirkungen von der Grössenordnung der Muskel-Wasserpotentiale zu erhalten. Wir wären aber zu der Annahme gedrängt, dass der wasserstarre Muskel Säure bildet, welche am Ort der Entstehung eine enorme, zwischen 0,1 und 0,01 liegende Concentration aufweisen.

Hier liegt eine Schwierigkeit, welche wirklich die Oker-Blom'sche Annahme nahe legt, dass die durch Wasser geschädigten Fibrillen nur den Kationen den Durchtritt gestatten. Denn in solchem Falle können geringere Säureconcentrationen stark elektromotorische Wirkungen erzeugen. Doch ehe ich mich zu dieser Hypothese bekenne, sind umfassende Versuche nöthig. Vorläufig spricht noch manches dagegen: Man erhält von tagelang todten Muskeln, von Muskeln, die in fast kochendes Wasser gehängt sind, Diffusionsströme von der Spannung der an frischen Halb-Wasser-Muskeln beschriebenen. Es gelingt, Querschnitt-Längsschnitt-Demarcationsströme von 45 Millivolt durch Wasserableitung vom Querschnitt, — wo also keine trennende „semipermeable Membran" liegt, — zu compensiren. Im ersteren Falle müssten wir eine sonstigen Erfahrungen widersprechende Haltbarkeit der Plasmahauteigenschaften annehmen; im zweiten Falle kämen wir schliesslich mit Oker-Blom bis zu der

Hypothese, dass etwa — die Querstreifungen der Fibrille mit Halbdurchlässigkeit ausgerüstet wären. Darüber aber wagt auch er „kaum Vermuthungen auszusprechen".

Ich hätte gern irgend einen positiven Beweis dafür gehabt, dass das Muskel-Wasserpotential auf nichts Anderem als auf Diffusion saurer Elektrolyte beruht, da mir im Interesse späterer Versuche an der Feststellung lag, dass sich an Muskeln partiell Säure bilden kann ohne gleichzeitige Entstehung eines Demarcationsstromes, und dass ein Demarcationsstrom ohne Säurebildung entstehen kann. Einen positiven Beweis habe ich bisher nicht gefunden. Indicatoren reichen selbstverständlich in den ersten Stadien einer Wasserwirkung nicht aus, und Gasconcentrationsketten auf H^+-Ionen lassen sich nicht von Störungen durch andere Muskelelektrolyte frei machen.

Durch ein Experiment kann man die grosse Wahrscheinlichkeit, welche so schon auf Seiten der Säurediffusion steht, noch vermehren. Bekannt ist die von Kühne gefundene Thatsache, dass man Muskeln bei einer Temperatur um 0° mit abgekühlten Instrumenten zerreiben und einen Saft aus ihnen gewinnen kann, der alkalisch oder neutral reagirt. Da ist die Vermuthung naheliegend, dass auch kalte Muskeln unter der Wassereinwirkung nicht mehr sauer werden, also keine Potentialdifferenz gegen Wasser mehr geben dürfen.

Ich verfuhr zunächst einfach so, dass ich den Muskel mit dem unteren Ende in Eiswasser tauchen liess und aus diesem ableitete. Der Erfolg war, dass sich das gewohnte Wasserpotential entwickelte, wenn auch sehr viel langsamer und in geringerer Stärke. Der Versuch ist aber in dieser Form auch aussichtslos, denn einmal kann man mit den Hermann'schen Potentialen, welche warme gegen kalte Muskelpartieen entwickeln, in Conflict gerathen; dann aber vor Allem diffundirt ja das Wasser über die Grenze der directen Benetzung hinaus in nicht gekühlte Muskelpartien. Hier kann also Säure entstehen. Desshalb musste ich darauf bedacht sein, den ganzen Muskel kalt zu halten. Das geht leicht auf folgende Weise.

Man befestigt einen stromlosen Sartorius mit Knochenansatz an einem ausgekochten dicken, mit 0,1 n. NaCl getränkten Baumwolldocht. Dieser Docht wird von der Trichterseite her durch den Hals eines kleinen Trichters gezogen, so weit, dass der Muskel frei in dem Trichter hängt und sein unteres Ende noch ca. 1 cm von dem Trichterrand entfernt ist. Der Trichter wird nun mittelst eines kleinen Stativs in umgekehrter Stellung in Eiswasser mit Eisstücken

und einer Spur ganz dünner Kochsalzlösung versenkt bis dicht an das Ende seines Halses. Da der nasse Docht den Hals luftdicht schliesst, kann kein Wasser in den Trichter eindringen, und der Muskel hängt frei in dem abgesperrten Luftraume, wie in einer Taucherglocke. Man wartet nun eine Viertelstunde, bis Alles gut gekühlt ist, geht dann mit einer kleinen umgebogenen Pipette unter den Trichterrand ein und lässt so viel Luft austreten, dass das Eiswasser den Trichter bis fast zur Hälfte anfüllt. Abgeleitet wird dann von dem (am Halsende abgeschnittenen) Docht und aus dem Eiswasser. Der Erfolg war, in alter Bezeichnung:

Minuten:	3	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60
Millivolt:	+ 1	+ 4	+ 2	— 1	+ 2	— 2	+ 2	± 0	— 1	— 1	— 1

Die Potentiale, wie sie hier auftreten, liegen durchaus innerhalb der Versuchsfehler; schon die geringsten Muskelcontractionen können sie hervorrufen. Der Versuch beweist also, dass Wasser von 0° nicht im Stande ist, an einem auf fast 0° abgekühlten frischen Muskel ein Contractpotential hervorzurufen bei einer 60 Minuten langen Einwirkung. Ferner beweist der Versuch, dass ein solcher abgekühlter Muskel, als Kettenglied verwendet, sich elektromotorisch kaum von einer 0,1 n. Kochsalzlösung unterscheidet, dass eine solche also auch elektromotorisch fast indifferent ist.

Das Experiment ist jedoch noch nicht zu Ende. Es wurden nämlich zur Controle nach Ablauf der 60 Minuten — ohne irgend eine Aenderung an der Aufstellung — sämmtliche Eisstücke aus dem Wasser entfernt. Die ziemlich rasche Erwärmung des Wassers (die Zimmertemperatur betrug 25°!) war von folgender Potentialentwicklung begleitet:

Minuten u. Wassertemperatur:	80. T = 6°	90. T = 11°	100. T = 13°	110. T = 15°
Millivolt:	+ 8	+ 14	+ 18	+ 23

Es wird jetzt wieder frisches Eis um den Trichter gepackt:

Minuten:	130	140	160	180	200
Millivolt:	+ 16	+ 11	+ 8,5	+ 7	+ 7

Ueber das letzte Resultat — die Wiederabnahme des Potentials bei erneuter Abkühlung — war ich anfangs etwas überrascht. Aber die Erklärung scheint mir ungezwungen: Bei sinkender Temperatur kann ein Muskel unter der Einwirkung von Eiswasser immer weniger und schliesslich gar keine neue Säure mehr bilden; die einmal vorhandene hat aber in den 100 Minuten Zeit, zum grössten Theil in das

Wasser zu diffundiren. Ob das Letztere richtig ist, ob eine einmal begonnene Säurebildung in der Kälte sistirt, habe ich noch besonders zu prüfen versucht: Ein Muskel, der bei Zimmertemperatur ein Wasserpotential von + 34 Millivolt entwickelt hatte, verlor dieses in dem Kühltrichter im Verlauf von 120 Minuten bis auf + 7,5 Millivolt.

Nach alledem ist die Wahrscheinlichkeit sehr gross, dass die Potentialdifferenz, welche sich zwischen Muskel und Wasser bildet, auf der einseitig bevorzugten Diffusion der durch Wasserschädigung entstandenen „sauren Zerfallsstoffe" beruht, und dass dem Wasser in der Nähe von 0° eine solche schädigende Wirkung nicht zukommt.

Die wichtige Frage, ob etwa bei dem durch partielle mechanische Muskelverletzung auftretenden Demarcationsstrom den entstehenden sauren Elektrolyten irgend eine elektromotorische Bedeutung zukommt, liegt ausser dem Rahmen dieser Mittheilung. Es mag aber kurz gesagt sein, dass ein Muskel, der in einem annähernd 0° warmen Raume mit abgekühltem Instrument verletzt und mit abgekühlten Kochsalzelektroden abgeleitet wird, einen starken gesetzmässigen Demarcationsstrom anzeigt. Schon Hermann hat bekanntlich gefunden, dass ein Ruhestrom durch Abkühlung nur wenig geschwächt wird, dass die Differenz der Spannung bei maximalem Temperaturintervall nur etwa 20% beträgt.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit darauf hinweisen, in welchem Maasse die „schädigende" Wirkung hypertonischer und hypotonischer Salzlösungen auf Muskeln von der Temperatur abhängt. Ob dabei die mehr oder weniger starke Säurebildung die Ursache oder die Folge der „Schädigung" ist, mag dahingestellt sein. Der Temperatureinfluss ist derart, dass aus der Schnelligkeit und dem Grade eines sich ausbildenden Muskel-Wasserpotentiales bis gegen 0° hinunter ungefähre Schlüsse auf die Temperatur gemacht werden können. Manche Schwankungen an „Wassercurven" lassen sich aus Temperaturschwankungen erklären. Man kann Muskeln in Eiswasser sehr stark quellen lassen und in eiskalten Kochsalzlösungen wieder entwässern, ohne dass hierdurch die Reizbarkeit oder die Stärke des Demarcationsstromes beträchtlich leidet. Man findet an Muskeln, welche in Eiswasser ad maximum gequollen sind, den Längsschnitt-Querschnittstrom bei kalter Kochsalzableitung von fast normaler Stärke, solange jegliche Erwärmung vermieden wird. Bei Zutritt von Zimmertemperatur sinkt dagegen das Potential in 5 Minuten auf weniger als ein Drittel ab.

Das alles ist wichtig, aber wenig beobachtet bei Versuchen mit schädigenden Flüssigkeiten. In allen Fällen, wo die Isotoniegesetze nicht streng eingehalten werden können, wo vorübergehende Quellungen nicht zu vermeiden sind, sollte man durch tiefe Temperaturen nach Möglichkeit einer „Schädigung" vorbeugen.

Dass partielle Wasserbehandlung auch wirkliche Demarcationsströme, Potentialdifferenzen bei gleichartiger Kochsalzableitung, erzeugen kann, ist hier schon mehrfach erwähnt. Die Angaben über die „stromerzeugende Fähigkeit" der partiellen Wasserstarre lauten ja sehr verschieden; meist heisst es, es entwickelt sich nur träge und unsicher ein schwacher Strom. Verständlich werden diese Unsicherheiten erst, wenn man die Temperatur berücksichtigt. Bei höherer Temperatur — etwa über 30° — ist Wasser im Stande, in kurzer Zeit einen gesetzmässigen Ruhestrom zu erzeugen, welcher bei weiterer Temperaturerhöhung immer schneller und kräftiger auftritt. Es lässt sich hier kaum eine Grenze festlegen, bei der man die Benennung in „thermische Schädigung" umändern möchte. Die Uebergänge sind stetig.

Bei vielen der Wasserversuche war ich genöthigt, in sehr tiefer Zimmertemperatur zu arbeiten. Es konnte desshalb bei langer Versuchsdauer nicht ausbleiben, dass das Wasser auch in der Art schädigend wirkte, dass schwache Ruheströme entstanden. Das hängt, wie schon gesagt, ganz davon ab, ob die Versuchstemperatur derart ist, dass das Wasser an der Stelle der directen Einwirkung schon dann schwer schädigen kann, wenn es noch nicht durch Diffusion in den Muskelrest eingedrungen ist. Es kommt also auf das Verhältniss von thermischer und mechanischer (osmotischer) Wirkung des Wassers an.

Ein Beispiel für das Gesagte ist schon in der zweiten Hälfte des Versuchs 19 (S. 268) gegeben. Man sieht, dass der Muskel, der bei mehr als 20° Zimmerwärme in 255 Minuten ein Wasserpotential von + 64 Millivolt entwickelt hatte, dieses bei beiderseitiger Kochsalzableitung nicht nur sofort verliert, sondern gar in erheblichem Maasse umkehrt. Kochsalzlösung war nicht mehr im Stande, die Wasserschädigung zu repariren; es bleibt ein Potential von ca. 10 Millivolt zurück, welches nur einem echten Demarcationsstrom angehören kann.

Nach kurz dauernder Wasserbehandlung ist auch in höherer Zimmertemperatur bessere Wiederherstellung möglich. Ich gebe dafür noch Versuch 39 an. Der stromlose Muskel wurde wieder, wie

gewöhnlich, mit der unteren Hälfte in 0,0001 n. NaCl-Lösung gehängt, und ergab so:

Minuten:	30 Sec.	1	2	3	5	10
Millivolt:	+ 16	+ 22	+ 30	+ 33	+ 35	+ 41

Nun kommt das Präparat wieder ganz in 0,1 n. Kochsalzlösung und wird danach mit Kochsalzpinseln abgeleitet:

Minuten:	1	2	5	10	20	30	60
Millivolt:	+ 15	+ 10	+ 8	+ 7	+ 5	— 3	— 3,5

Ein Demarcationsstrom von 3,5 Millivolt scheint also so ziemlich das Endresultat zu sein.

Wie stark auch hypertonische Kochsalzlösungen (bei höherer Temperatur) den Muskel angreifen, mögen noch ein Paar Beispiele darthun:

Versuch 27.

25. Mai 1903. Zimmerwärme 25°. Der stromlose Sartorius hängt mit dem unteren Ende in einer mit 4%iger Kochsalzlösung gefüllten Spülelektrode. Das Potential bezieht sich auf diese Elektrode:

Minuten:	1	3	10	15	25
Millivolt:	± 0	± 0	— 8	— 15	— 2

Das Potential entwickelt sich also langsam. Es könnte dabei der Verdacht auftauchen, dass der ganze Muskel in der warmen Umgebung allmählich Spuren von Säure bildet, so dass man es wieder mit einer Säurediffusionskette:

0,1 n. NaCl | Säure | 4% NaCl

zu thun hätte. Denn diese würde im Sinne einer Negativität der starken Kochsalzlösung wirken.

Aber der Verdacht scheint unhaltbar, einmal, weil die Differenz der Kochsalzlösungen zu gering ist für stärkere elektromotorische Wirkungen durch Diffusion, dann aber blieb die einmal erreichte Potentialdifferenz auch bestehen oder vergrösserte sich sogar noch langsam, wenn man die 4%ige Kochsalzlösung der Spülelektrode durch 0,1 normale ersetzte. Der so fortgesetzte Versuch lautet:

Minuten:	26	28	30	40	45	50	60	Versuch abgebrochen.
Millivolt:	— 24	— 27	— 29	— 28	— 29,5	— 30	— 29	

Auch 2%ige Kochsalzlösung wirkt bei 25° schon ziemlich rasch schädigend:

Versuch 28.

2% NaCl (Bezeichnungen wie in Versuch 27):

Minuten:	1	5	10	20	35
Millivolt:	— 2	— 4	— 6	— 8	— 10

Die 2%ige Kochsalzlösung gegen 0,1 normale vertauscht:

Minuten:	37	40	60	80	abgebrochen.
Millivolt:	— 8	— 8	— 11	— 12	

Dass partiell angewendete stärkere Kochsalzlösungen einigermaassen stromerzeugend wirken, ist ja schon bekannt. Man sprach dabei meist von ihrer „ätzenden“ Wirkung, ohne damit bestimmte Vorstellungen zu verbinden. Ob es sich auch hier um einseitig bevorzugte Säurediffusion handelt, muss ich nach dem Obigen entschieden verneinen. Die Wirkung hypertonischer Lösungen bei tiefer Temperatur habe ich noch nicht untersucht.

Zum Schlusse möchte ich noch einmal einen Hauptgegenstand dieser Mittheilung hervorheben: die praktische Unterscheidung von einfachen Diffusionspotentialen und von wirklichen Demarcationsströmen.

Ein Kriterium der letzteren scheint mir, wie schon mehrfach erwähnt, darin gegeben, dass die partiell verletzte Fibrille einen Strom entwickelt in der Art eines geschlossenen Elementes. Als Kationen liefernde „Elektrode“, als Anode, spreche ich dabei die gesammte unverletzte Fibrillenoberfläche an, als Kathode den Querschnitt bezw. die „geschädigte“ Stelle. Als äusserer Schliessungsbogen fungirt die die Fibrille umspülende Elektrolytlösung. Ueberall an diesem Schliessungsbogen lassen sich bei indifferenter Ableitung Potentialdifferenzen nachweisen. Ihre Grösse ist unter Anderem abhängig von dem Verhältniss des Widerstandes der intrapolaren Strecke zum Widerstand des ganzen cellularen Stromkreises. Vergrössere ich den ersteren, — etwa durch Auslaugen des Muskels mit isotonischer Non-Elektrolytlösung, — so nimmt der Potentialabfall im äusseren Stromkreise zu, die „Klemmschraubenspannung“ — möchte man sagen — wächst, bis sie bei unendlich grossem äusserem Widerstande der elektromotorischen Kraft der Zelle gleich wird.

Bei den mit Hülfe von Muskeln erzeugten Flüssigkeitsketten handelt es sich dagegen um einfache Diffusionspotentiale. Im Falle der einseitigen Wasserableitung ist der diffundirende Elektrolyt sehr wahrscheinlich ein saures „Zerfallsproduct“ der Muskelfibrille; es lädt bei der Diffusion durch sein schnell wanderndes Kation das Wasser positiv, durch das nachbleibende Anion den Muskel negativ. Zur Bildung eines elektrischen Stromes ist dabei keinerlei Veranlassung vorhanden. Ein solcher tritt vielmehr erst ein beim Schluss der Kette; seine Richtung führt im Muskel von diesem zum Wasser. Dieser Diffusionsstrom bleibt bestehen, so lange der — ganz oder theilweise todte — Muskel noch irgendwo Säure enthält, welche nach zwei Seiten ein ungleich starkes Diffusionsgefälle erleidet.

Es ist sicher, dass ein Diffusionsstrom und ein Demarcations-

strom mit einander interferiren, sich superponiren, oder mehr weniger compensiren können. Bei der Wasser-Säurediffusion tritt dies nicht nur dann ein, wenn man von einer mechanischen oder thermischen Verletzung mittelst Wasserelektrode ableitet, während die im Gesunden liegende Elektrode isotonische Kochsalzlösung enthält, sondern auch dann, wenn die Einwirkung der Wasserelektrode auf normales Muskelgewebe so lange dauert, dass sie gleichzeitig mit dem Diffusionsstrom auch einen — immerhin schwachen — Demarcationsstrom erzeugen kann.

Für die praktische Unterscheidung beider Stromarten stehen uns zureichende Hülfsmittel zur Verfügung.

Zunächst einmal wird man nur das als Demarcationsstrom ansprechen, was man mit elektromotorisch gleichartigen Elektroden nachweisen kann. Häufig aber ist nur schwer zu entscheiden, ob, z. B. bei partieller Wasserbehandlung, in dem unbeschädigten Bezirk Potentialdifferenzen vorliegen. Das ist schon desshalb schwer, weil sich die Grenze der Wasserschädigung nicht genügend scharf markirt, und — wenn man sich zu weit von der Grenze in das Gesunde hinein entfernt — die in Frage kommenden Potentialdifferenzen ganz minimale sind.

In allen solchen Fällen kann man von der Thatsache Gebrauch machen, dass sich Flüssigkeitsketten, wie man sie durch Benetzung von Muskeln mit Wasser erhält, nicht „hinter einander schalten" lassen, während sich bei wirklichen Demarcationsströmen die *E. K.* der einzelnen „hinter einander geschalteten" Muskeln summirt. Auf diese Weise können auch schwache elektromotorische Wirkungen unterschieden werden. Dafür ein Beispiel:

Versuch 82.

29. Mai 1903. Zwei stromlose Sartorien werden durch 15 Minuten mit dem unteren Ende in eine 0,0001 n. NaCl-Lösung enthaltende Spülelektrode gehängt. Sie ergeben nach dieser Zeit gegen die Elektrode Potentialdifferenzen von + 37 und + 39 Millivolt. Nun werden die beiden Muskeln so auf einander gelegt, dass das normale Ende des einen das Wasserende des anderen zum Theil bedeckt. Leitet man jetzt wieder die äusseren Enden der „hinter einander geschalteten" Muskeln mit 0,1 n. und 0,001 n. Kochsalzlösung ab, so zeigte sich die Potentialdifferenz + 36 Millivolt. Eine Summirung der Spannung findet also nicht statt, im Gegentheil eine geringe Verminderung. Diese Verminderung beruht sehr wahrscheinlich darauf, dass beide Muskeln neben ihrem Wasser-Säurepotential schon ganz schwache entgegengesetzte Ruhestrompotentiale besitzen. Diese kommen aber — und zwar nur diese — in dem Versuch zur Summation. Wurden näm-

lich die Wasserenden der beiden Muskeln einer erneuten länger dauernden Einwirkung der 0,0001 n. Kochsalzlösung ausgesetzt, so trat Folgendes ein: Die Potentialdifferenz der einzelnen Muskeln gegen 0,0001 n. Kochsalz war (wie in den früheren Versuchen) gesunken; sie betrug + 27 und + 29,5 Millivolt. Beim Hintereinander-Schalten in obiger Weise erhielt man + 21,5 Millivolt. Das ist kaum anders zu deuten, als dass in den durch lange Wasserwirkung bedeutend geschädigten Muskeln sich ein merklicher Demarcationsstrom entwickelt hatte. Ihm wird in der Hauptsache auch das Sinken des Wasserpotentials in den Einzelmuskeln zuzuschreiben sein. Ganz deutlich aber wird das Vorhandensein dieses Stromes, wie wir sahen, bei der Hintereinander-Schaltung: dem einfachen Muskelwasserpotential tritt hier das verdoppelte Demarcationspotential entgegen.

Die beiden Muskeln werden nun zum Schluss mit ihren Wasserenden in 60° warme Kochsalzlösung getaucht. Sie geben danach bei gleichartiger Kochsalzableitung Demarcationsströme von — 35 und — 37 Millivolt. In obiger Weise von Neuem hinter einander geschaltet und mit Kochsalzpinseln abgeleitet zeigt die Messbrücke — 70,5 Millivolt an: es ist volle Summation seiner Demarcationsströme eingetreten.

Dass sich Muskeln mit mechanischen Querschnitten „auf Spannung" schalten lassen, habe ich schon erwähnt. Ich füge noch hinzu, dass das Gleiche gilt für Muskeln, die partiell mit isotonischer Zuckerlösung behandelt sind. Solche Muskeln zeigen bei gleichartiger Kochsalzlösung einen starken, im Muskel vom normalen zum zuckerhaltigen Abschnitt gerichteten „Demarcationsstrom", welcher beim Einlegen des Muskels in eine 0,1 n. Kochsalzlösung wieder gänzlich verschwindet. Trotzdem findet bei der „Schaltung" dieses Stromes eine vollständige Summation statt.

(Mittheilung aus dem Institut für allgem. Pathologie u. Therapie der Universität Budapest. Director: Prof. A. Högyes[1]).)

Ueber den Zusammenhang zwischen der Muskulatur und dem Labyrinth.

Von

Dr. **Georg v. Marikovszky,** Assistent.

Mit 2 Textfiguren.

Es ist eine allbekannte Thatsache, dass zwischen dem Gehörorgan resp. dem Labyrinth und der gesammten Muskulatur ein gewisser Zusammenhang vorhanden ist.

Flourens[2]) bemerkte im Jahre 1824, dass der Kopf solcher Tauben, deren. halbkreisförmige Canäle er durchschnitten hat, auf höhere Töne mit krampfartigen Zuckungen reagirte. Er war jedoch noch der Meinung, dass diese Erscheinung auf das krankhaft gesteigerte Hörvermögen zurückgeführt werden kann. („L'audition douleureuse".)

Esser beobachtete im Jahre 1827, dass Hunde mit langen, hängenden Ohren diese auf hohe Geigentöne spitzten.

Breuer[3]) (1875) fasst die an operirten Thieren beobachteten pendelnden Kopfbewegungen und den Manegegang als directe Folgen einer Verletzung der halbkreisförmigen Canäle auf.

Cyon[4]) sah (1876) Pupillenverengerung auf der durch Ton gereizten und Pupillenerweiterung auf der entgegengesetzten Seite.

---

1) Theile der Resultate dieser Untersuchungen wurden der ungarischen Akademie der Wissenschaften am 15. Mai 1899, am 16. Juni 1902 und am 19. Januar 1903 vorgelegt.

2) Flourens, Mémoires présentés à l'Académie royale des sciences. 1824.

3) Breuer, Beiträge zur Lehre vom statischen Sinn. 1875.

4) Cyon, Physiol. Beziehungen zwischen dem Gehörnerv und dem oculomotorischen Apparat. Compt. rend. 1876.

Im Jahre 1877 sah Cyon[1]) nach Durchschneidung der halbkreisförmigen Canäle bilaterale Augenbewegungen auftreten.

Preyer[2]) gelang es (1881), bei Meerschweinchen mit Tönen des Cri-Cri synchrone Ohrbewegungen hervorzurufen.

Mit den nystagmischen Augenbewegungen befasste sich Högyes[3]) bereits am Ende der siebziger Jahre. Seine Aufmerksamkeit wurde durch einen Zufall auf dieselben gelenkt. Er wollte nämlich untersuchen, ob das Drehen einen Einfluss auf die Mastdarmtemperatur der Thiere ausüben würde, und nahm bei dieser Gelegenheit die auftretenden Augenbewegungen wahr. (Solche Augenbewegungen konnte er übrigens auch durch das Ausreissen des Nervus facialis hervorrufen.) Als er die compensatorischen Augenbewegungen im Jahre 1879 näher untersuchte, bemerkte er, dass solche nicht nur an den Augen, sondern auch an den Augenlidern, Ohren, am Gesicht, am Nacken, in gewissem Grade sogar an der gesammten Körpermuskulatur hervorgerufen werden können. Die compensatorischen Augenbewegungen waren bei Meerschweinchen und bei Vögeln schwächer

---

1) Cyon, Recherches expér. sur les fonctions des canaux semicirculaires etc. Acad. d. scienc. Séance du 31 Déc. 1877.

2) Preyer, Die Seele des Kindes. 1881.

3) Högyes hat sich mit der Physiologie des Ohrlabyrinths und hauptsächlich mit dem Zusammenhang des Labyrinths und der Augenbewegungen besonders in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts sehr eingehend beschäftigt. Seine erste Mittheilung über diese Frage erschien im Jahre 1879, die letzte im Jahre 1886. In diesem Zeitraum veröffentlichte er 22 Arbeiten über die Physiologie des Ohrlabyrinths. Der grösste Theil erschien leider nur in ungarischer Sprache, einige wurden jedoch auch in deutschen Zeitschriften veröffentlicht, so „Ueber die Veränderungen des Auges nach Facialisexstirpation." Arch. f. exper. Pathol. u. Pharm. Bd. 11. — „Ueber die Wirkung einiger chemischer Stoffe auf die associirten Augenbewegungen." Arch. f. exper. Pathol. u. Pharm. Bd. 16. — „Ueber die wahren Ursachen der Schwindelerscheinungen bei der Drucksteigerung in der Paukenhöhle." Pflüger's Arch. Bd. 26. Die Resultate seines in drei Theilen erschienenen Hauptwerkes „Ueber den Nervenmechanimus der associirten Augenbewegungen" wurden durch Prof. Klug im Biol. Centralblatt 1881 Nr. 7 und im Jahresbericht f. d. Fortschritte d. Anat. u. Physiol. Bd. 9 S. 123. 1881 auf's Ausführlichste besprochen. Da aber in diesem Referat seine Methodik nicht ausführlich beschrieben wurde, führte dies zu vielen Missverständnissen von Seite der Forscher, die seine Experimente wiederholen wollten. In neuester Zeit veröffentlichte er wieder einige kleine Arbeiten; ein grösseres Werk, das auch die Resultate neuerer Untersuchungen und die ausführliche Methodik seines Verfahrens beschreiben und auch deutsch erscheinen wird, wird gegenwärtig vorbereitet.

als bei den Kaninchen und wurden durch Kopfbewegungen ersetzt. Im Jahre 1880 und 1881 hat Högyes den engen Zusammenhang zwischen den Augenmuskeln und dem Labyrinth auf's Ausführlichste durchforscht und beschrieben. Seine Versuche bewiesen, dass die Musc. rect. lat., obl. sup. und rect. sup. des Auges mit dem Labyrinth derselben Seite, die Musc. rect. med., obl. inf. und rect. inf. dagegen mit dem der entgegengesetzten Seite in Zusammenhang stehen. Bei Unversehrtheit beider Labyrinthe, resp. bei vollkommenen Functioniren dieser, beobachtete er an den Augen der Kaninchen während des Drehens an einer Drehscheibe einen, der Ebene des Drehens entsprechenden, bilateralen, associirten Augennystagmus. Nach Entfernung oder Zerstörung beider Labyrinthe bleiben die compensatorischen Augenbewegungen gänzlich aus, falls aber nur ein Labyrinth entfernt oder zerstört wurde, so trat Strabismus beider Augen auf. Zerstörte er z. B. nur das linke Labyrinth, so kommen am linken Auge die Musc. rect. med., obl. inf. und rect. inf., am rechten Auge die mm. Rect. lat., Obl. sup. und Rect. sup. in Contractur; die übrigen drei-drei Muskeln der beiden Augen erschlaffen dagegen vollkommen.

Im Jahre 1881 behauptete Högyes, dass im Mittelhirn und im verlängerten Mark ein Reflexcentrum vorhanden sei, dessen centripetale Bahnen die in den Labyrinthen endenden Nervi acustici, und dessen centrifugale Bahnen die in den zwölf Augenmuskeln endenden motorischen Nerven bilden. Im Jahre 1882 fand er, „dass zwischen den Vertibularenden des Acusticus und gewisser Muskelcomplexe eine nähere Verbindung besteht,“ und weiter: „In den häutigen Bogengängen der beiden Ohrlabyrinthe mit dem Utriculus besteht eine zweifache centripetale Endvorrichtung des bilateral eingerichteten, die gesammte Körpermuskulatur associirenden oder coordinirenden Nervenapparates, welche je nach den Aenderungen ihrer Lage im Labyrinthe die unwillkürlichen bilateralen Körperbewegungen regeln.“

Högyes untersuchte im Jahre 1884 in Gemeinschaft mit Lauffenauer hystero-epileptische Kranke, wobei er an denselben sowohl im wachen als auch im hypnotischen Zustande folgende Beobachtungen machen konnte.

Verschliesst man das eine Ohr der Kranken mit Baumwolle und lässt dann vor dem anderen eine Stimmgabel ertönen, so geräth der Fuss der dem freien Ohre entsprechenden und der Arm der

entgegengesetzten Seite in Contractur. Sind beide Ohren der liegenden Patientin frei, und ertönt die Stimmgabel vor ihr, so gerathen alle Extremitäten in Contractur. Wenn die stehende Kranke dem Klopfen eines Inductionsapparates eine Zeit lang zuhörte, so erstarrten die Muskeln der Arme und die des Nackens. Wenn nun ein hoher Harmonikaton ertönte, so liess die Starrheit der Nackenmuskulatur nach, die der Arme blieb aber unverändert. Verschliesst man das eine Ohr der sitzenden Kranken und lässt nun vor dem freien Ohr rhythmische Musik ertönen, so fiel die untere Extremität der dem freien Ohre entsprechenden und der Arm der entgegengesetzten Seite in rhythmische Zuckungen. Wird nun die Musik plötzlich unterbrochen, bleiben die steinhart gewordenen Extremitäten in der Lage, welche sie im Momente des Unterbrechens eingenommen hatten[1]). „Es ist," sagt Högyes, „demnach bewiesen, dass der Endapparat des Acusticus eigentlich der centripetale Endapparat eines Nervenmechanismus ist, welcher nicht bloss die Augenbewegungen, sondern auch die Bewegungen des ganzen Körpers associirt."

Högyes setzte seine Versuche an Hysteroepileptikern im folgenden Jahre fort, wobei er zu dem Schlusse kam, dass von dem Gehörnerven Reflexe auf sämmtliche spinale motorische Nerven übertragen werden können.

In einer Abhandlung aus dem Jahre 1886 erwähnt Högyes seine bereits vor Jahren gemachte folgende Beobachtung. Wird vor einer Schaar Meerschweinchen in die Hände geklatscht, auf eine Flasche oder auf einen Tisch geschlagen oder auf irgend eine andere Weise ein schärferes Geräusch hervorgerufen, so werden synchron mit dem Geräusch sämmtliche Meerschweinchen Reflexzuckungen der Ohren aufweisen.

Lichtwitz[2]) (1887) sah nach grösserem Geräusch bei Hysterischen Convulsionen auftreten.

Zoth[3]) (1901) ist der Meinung, dass die japanischen Tanzmäuse ihr Gleichgewicht ganz gut behalten können, und wenn unter gewissen Verhältnissen dies nicht der Fall zu sein scheint, so darf

---

1) Es ist interessant, dass solche Reflexcontracturen auch durch Tast-, Geschmack-, Geruch- und optische Reize hervorgerufen werden konnten.

2) Lichtwitz, Anaesth. hyst. Paris 1887.

3) Zoth, Ein Beitrag zu den Beobachtungen und Versuchen an japanischen Tanzmäusen. Pflüger's Arch. 1901.

dies nicht (wie Cyon[1]) meinte) dem Gesichtsschwindel zugeschrieben werden, sondern der unvollkommenen Innervation der Muskulatur resp. der Unvollkommenheit der Coordination.

Zwei Preise, welche die medicinische Facultät der Budapester Universität auf die Empfehlung Prof. Högyes' behufs Fortsetzung der Untersuchungen über die Physiologie des Ohrlabyrinthes ausgeschrieben hat, regten mich noch im Jahre 1897 zu Untersuchungen auf diesem Gebiete an. Ich machte meine Versuche an Raben und Elstern, vorwiegend aber an Tauben und Kaninchen. Bei den Versuchen an Tauben verfuhr ich im grossen Ganzen nach der Methode Ewald's. Die Untersuchungen an Kaninchen machte ich nach der Methode und unter der Aufsicht Högyes', wobei ich mich überzeugt habe, dass man hierbei weniger „künstlerische Fertigkeit" (wie das einige Forscher am Anfange der achtziger Jahre behauptet und die Resultate Högyes' in Folge dessen mit einer gewissen Skepsis empfangen haben) als vielmehr Uebung, Geduld und einer entsprechenden Leitung bedarf.

Zur Stütze meiner Folgerungen werde ich auch die diesbezüglichen Resultate der Versuche Ewald's und Dreyfuss' erwähnen.

In erster Reihe wiederholte ich Högyes' Versuche über den Nervenmechanismus der associirten Augenbewegungen. Die Resultate stimmten mit denen von Högyes vollkommen überein, wesshalb ich auf die nähere Beschreibung dieser verzichten kann.

Zum Theil die Versuche Ewald's wiederholend, konnte ich an Tauben, deren linkes Labyrinth ich entfernt habe, Folgendes beobachten:

1. Der Kopf der Taube ist vom dritten Tage an nach der Operation bis ungefähr zum 14. derart verdreht, dass das Schädeldach den Boden berührt, das rechte Auge nach vorne, das linke nach hinten sieht.

2. Drehe ich das Thier auf einer Drehscheibe in horizontaler Ebene nach rechts, so pendelt der Kopf nur nach dem Einstellen des Drehens. Drehe ich sie hingegen nach links, so pendelt der Kopf um die verticale Achse nur während des Drehens.

3. Beim Gehen schwankt die Taube häufig nach links, da der linke Fuss (was Cyon schon im Jahre 1878 beschrieben hat) oft einknickt.

1) Cyon, Ohrlabyrinth, Raumsinn und Orientirung. Pflüger's Arch. 1900.

4. Die Taube dreht sich oft nach links, da sie mit dem rechten Fuss zu grosse Schritte macht.

5. Stellt sie sich auf einen Fuss, so ist das gewöhnlich der rechte.

6. Will sie sich von einer über ihren Kopf gezogenen Kappe befreien, so stellt sie sich auf das rechte Bein und kratzt die Kappe wiederholt mit dem linken.

7. Will sie sich ab und zu bloss auf den linken Fuss stellen, so knickt dieser ein.

8. Mit dem rechten Fuss hebt sie das daran gebundene Gewicht höher wie mit dem linken.

9. Setze ich sie auf meinen Finger, so umklammert sie denselben mit dem rechten Fuss zwar ungeschickt, aber bedeutend stärker als mit dem linken.

10. Hänge ich sie mit den Füssen an eine Schnur, so kann sie nicht fliegen; die Schläge des rechten Flügels sind zu stark; sie dreht sich in Folge dessen nach links. Wird sie bei dieser Gelegenheit erschöpft, so

11. zieht sie den rechten Flügel an den Körper, den linken lässt sie hängen. Der Schwanz wird etwas nach rechts zu gehalten [1]).

12. Inducirten Strömen gegenüber zeigen sich der rechte Flügel und der rechte Fuss weniger empfindlich als die linken Extremitäten.

Von den an linksseitig operirten Tauben gemachten, hierher gehörenden Versuchen Ewald's [2]) will ich hier folgende erwähnen.

13. Hält man mit der einen Hand die Füsse, mit der anderen den Schnabel der Taube und spannt das Thier auf diese Weise in horizontale Lage, so erreicht bei den Flügelschlägen die rechte Flügelspitze die den Schnabel haltende Hand.

14. Ewald durchschnitt den unteren Schnabel links operirter Tauben in der Längsrichtung und liess die zwei Hälften nicht zusammenwachsen. Band er jetzt gleiche Gewichte an beide Schnabelhälften, so erwies sich die linke als schwächer.

Im Jahre 1896 hat Ewald [3]) links operirte Tauben am Schwanze aufgehängt und bemerkte beim Eintritte der Todtenstarre,

---

1) Eine gesunde Taube wird unter solchen Umständen beide Flügel an den Körper ziehen und den Schwanz gerade halten.

2) Ewald, Physiol. Untersuchungen über das Endorgan d. Nervus octavus. Wiesbaden 1892.

3) Ewald, Die Beziehungen d. Tonuslabyr. zur Todtenstarre. Pflüger's Arch. 1896.

15. dass sich der Kopf des Thieres um ungefähr 80° ∢ rechts drehte, wobei das linke Auge höher zu stehen kam, ferner dass sich das linke Bein und der linke Flügel ein wenig eingezogen hatten.

An Kaninchen, deren linkes Labyrinth ich nach der Methode Högyes' entfernt oder zerstört hatte, bemerkte ich Folgendes[1]):

16. Sobald das linke Labyrinth seine Function einbüsst, so dreht sich der Kopf um die verticale und um die Längsachse nach links.

17. Beide vorderen Extremitäten werden nach rechts gehalten.

18. Binde ich das Thier von dem Högyes'schen[2]) Kaninchenbrett los, so wälzt es sich nach links.

19. Auf der Wirbelsäule tritt eine seitliche Krümmung auf. Die langen Muskeln der rechten Seite des Rumpfes sind in starker Contractur, die der linken vollkommen erschlafft, in Folge dessen wird die Wirbelsäule nach rechts concav.

20. Drehe ich das Thier in der horizontalen Ebene nach rechts, so pendelt der Kopf nur nach dem Einstellen des Drehens. Drehe ich es dagegen nach links, pendelt der Kopf nur während des Drehens.

21. Die Haltung des Kopfes nach links und die Haltung der vorderen Extremitäten nach rechts kann man durch Drehen in verschiedenen Ebenen nur in beschränktem Maasse corrigiren.

23. Die rechte Seite des ganzen Thieres ist inducirten Strömen gegenüber weniger empfindlich als die linke.

Dreifuss[3]) sah bei linkerseits operirten Meerschweinchen ebenfalls Linksdrehung des Kopfes und Linkswälzung des Körpers. Seine Beobachtungen differiren insoweit von den meinigen, als er bei seinen halbseitig operirten Meerschweinchen die Concavität der Wirbelsäule der beschädigten Seite zugekehrt fand. Ich konnte bei meinen zahlreichen, an Kaninchen ausgeführten Versuchen immer nur das Gegentheil wahrnehmen.

Bei Tauben, deren sämmtliche Bogengänge, sei es durch Ex-

---

1) Natürlich habe ich die halbseitigen Operationen an Tauben und Kaninchen nicht nur links, sondern auch rechts ausgeführt; die Erscheinungen traten demgemäss natürlicher Weise in verkehrter Weise auf. Bloss der leichteren Uebersicht wegen habe ich nur die Resultate linksseitiger Operation beschrieben.

2) Högyes, Bemerkungen über die Methode der Mastdarmtemperaturbestimmung bei Thieren u. s. w. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharm. Bd. 13.

3) Dreyfuss, Experimenteller Beitrag zur Lehre von den nicht-akustischen Functionen d. Ohrlabyrinthes. Pflüger's Arch 1900.

stirpation, sei es durch die Ewald'sche Plompirungsmethode, ausgeschaltet waren, konnte ich folgende Beobachtungen machen.

1. Ungeordnete Bewegungen des Kopfes um die eine oder andere Achse.

2. Falls in der späteren Zeit sich bei der Drehung des Thieres compensatorische Kopfbewegungen zeigen, sind dieselben von sehr geringer Ausdehnung und vollständig umgeordnet.

3. Diese Kopfbewegungen bleiben sowohl während als auch nach dem Drehen dieser Tauben vollkommen aus, wenn sie mit einer Kappe versehen werden.

4. Sie können die Erbsen aus einer gefüllten Schale nur nach vielen zwecklosen Kopfbewegungen aufpicken.

5. Wird die Taube geschüttelt, so baumelt ihr Kopf schlaff hin und her.

6. Die Körperhaltung beim Gehen ist wackelig, da bald das eine, bald das andere Bein einknickt.

7. Von Zeit zu Zeit geschieht eine Wendung nach rechts oder nach links, je nachdem sie mit dem rechten oder dem linken Fusse zu stark ausschreitet. Diese Erscheinung ist noch nach Jahren am

8. schlängelnden Gang zu erkennen.

9. Setzt man die Taube auf einen Stab, so ergreift sie diesen sehr ungeschickt, besonders wenn sie die Kappe auf dem Kopfe hat. (Sie tritt mit dem einen Fuss auf den anderen u. s. w.)

10. Auf den Rücken gelegt kann sie nur schwer aufstehen.

11. Ungeordnete Zwangsbewegungen um eine der Körperachsen nach rechts oder nach links, nach vorne oder nach hinten sind noch nach geraumer Zeit nach der Operation wahrnehmbar.

12. Falls sie während dieser Zwangsbewegungen ermüdet, ruht sie, besonders wenn sie die Kappe auf hat, in sehr unbequemer Körperhaltung aus.

13. Wird sie an den Füssen aufgehängt, lässt sie beide Flügel schlaff herabhängen.

14. Fliegen kann sie anfangs überhaupt nicht, später auch nur sehr unvollkommen.

15. Nach beiderseitiger Exstirpation (jedoch nicht nach Plombirung) findet man die Reflexerregbarkeit beider Flügel und Füsse herabgesetzt.

Von meinen an beiderseitig operirten Kaninchen gemachten Beobachtungen will ich hier folgende anführen.

16. Wird das Thier nach der Operation vom Kopfhalter befreit, so hält es den Kopf wohl in der Mittellinie, aber ohne Kraft, wobei das Kinn auf das Brett des Kaninchenhalters gestützt ist.

17. Wird das Thier mit freiem Kopf auf einer Drehscheibe befestigt, so folgt der Kopf bei den Drehungen nur den Gesetzen der Schwere.

18. Es werden zwar beide vorderen Extremitäten symmetrisch und zur Mittellinie des Körpers parallel gehalten, aber so kraftlos, dass bei passiver Bewegung derselben absolut kein Widerstand wahrnehmbar ist. Ueberhaupt ist

19. die gesammte Körpermuskulatur schlaff.

20. Das Thier kann nicht aufrecht stehen, da alle vier Füsse zusammenknicken.

21. Das beiderseitig operirte Kaninchen kann nicht schlingen. Diese Thiere müssen künstlich — mit Schlundsonde oder durch den Mastdarm — ernährt werden.

22. Die Reflexerregbarkeit inducirten Stromschlägen gegenüber ist an beiden Körperhälften herabgesetzt.

Folgende einschlägige Beobachtungen, die Dreyfuss an beiderseits operirten Meerschweinchen machte, gehören auch hierher.

23. Im Augenblicke der Zerstörung des zweiten Labyrinthes war die Erschlaffung der gesammten Muskulatur fühlbar.

24. Mit der Erschlaffung der Athmungsmuskeln tritt Dyspnoë auf, und in Folge der Schwächung der Phonationsmuskeln wird auch

25. die Stimme schwächer.

Aus allem dem ergibt sich nicht bloss das, dass zwischen dem Labyrinthe und der Muskulatur überhaupt ein Zusammenhang besteht, es lässt sich vielmehr auch die Art des Zusammenhanges eruiren.

In Analogie mit der Högyes'schen Entdeckung, dass je drei Augenmuskeln mit dem Labyrinthe derselben und je drei mit dem Labyrinthe der gekreuzten Seite in enger Verbindung stehen, lässt sich auf Grund meiner Versuche die coordinirte Innervation beinahe der ganzen Muskulatur analysiren.

Um mich eines recht anschaulichen Bildes zu bedienen, möchte ich den die Coordination der Muskulatur bewirkenden Apparat am liebsten mit einem Paar Zügel und dementsprechend die beiden Labyrinthe mit den zwei Händen des Kutschers vergleichen, welcher die Zügel hält und damit das ganze Gespann lenkt. Hält er beide Zügel gleichmässig gespannt, so ist der Fortgang des Gefährtes ein

gerader. Lässt er jedoch z. B. links ein wenig nach und zieht dafür rechts stärker an, so wird sich das Gespann rechts wenden.

Mit der, diesem Bilde entsprechenden Reflexverbindung der Augenmuskeln mit dem Labyrinthe werde ich mich hier nicht weiter befassen, nachdem Professor Högyes diesen Gegenstand bereits erschöpft hat.

Sind die Halsmuskeln, welche den Kopf des Kaninchens um die Längs- und um die verticale Achse drehen, rechts in ebenso kräftiger Zusammenziehung als links, so befindet sich der Kopf in der Mittelstellung. Entferne ich nun das linke Labyrinth, oder schalte ich durch eine gewisse, durch Drehung hervorzurufende Körperhaltung die Wirkung desselben beim gesunden Kaninchen aus, so sehe ich, dass nur die den Kopf nach links drehenden Muskeln in Thätigkeit sind, wogegen die rechtsdrehenden erschlaffen. Der Kopf ist in Folge dessen nach links gedreht. Das linke Labyrinth ist demnach mit den nach rechts drehenden Halsmuskeln, das rechte mit den nach links drehenden in Verbindung; diese Verbindung ist also eine gekreuzte.

Was nun die vorderen Extremitäten des Kaninchens betrifft, so besteht eine Verbindung derselben mit dem linken Labyrinth in Bezug auf die Adductoren der rechten und auf die Abductoren der linken vorderen Extremität und umgekehrt. Sind beide Labyrinthe unversehrt, und wirken beide in gleicher Weise, so werden die beiden vorderen Gliedmaassen in der Mitte, parallel der Längsachse des Körpers gehalten. Wirkt nun das linke Labyrinth nicht, sei es, weil es entfernt wurde, oder weil durch eine gewisse, durch Drehung des normalen Thieres erreichbare Körperhaltung die Wirkung desselben ausgeschaltet wurde, so verlassen die beiden vorderen Extremitäten die bisher innegehaltene „Mittelstellung“, und beide werden nach rechts gehalten. (Adduction der linken, Abduction der rechten vorderen Extremität.)

Ich konnte des Ferneren auch beobachten, dass bei Drehung des normalen Kaninchens in der Sagittalebene nach vorne sich die beiden vorderen Extremitäten in Extension befinden und die Krallen auseinander gespreizt sind; wird das normale Thier in derselben Ebene nach rückwärts gedreht, so sind die vorderen Gliedmaassen in Beugestellung, die Krallen an einander liegend. Wird das unversehrte Kaninchen auf der horizontalen Drehscheibe nach rechts gedreht, so wenden sich die Sohlen beider vorderen Extremitäten nach

rechts (Supination des linken, Pronation des rechten Fusses); bei Linksdrehung in derselben Ebene findet das Umgekehrte statt.

Nach einseitiger Operation konnte ich die Flexion und Extension Pronation und Supination nicht so genau beobachten wie die Abduction und die Adduction; da aber nach beiderseitiger Exstirpation der Labyrinthe alle diese Reflexbewegungen ausbleiben, ist es als sicher anzunehmen, dass die beiden Labyrinthe des Kaninchens auch mit der Flexion und Extension, sowie Pronation und Supination in Zusammenhang stehen. In Folge dessen kann ich theils auf Grund meiner Versuche, theils auf speculativem Wege in analogiam des von Professor Högyes für die Augenbewegungen aufgestellten Schemas behaupten, dass die Abductoren, Extensoren und Pronatoren mit dem gleichseitigen Labyrinthe, die Adductoren, Flexoren und Supinatoren aber mit dem Labyrinthe der gekreuzten Seite in Verbindung stehen.

Solange der Tonus der langen Muskeln, welche an beiden Seiten der Wirbelsäule wirken, der gleiche ist, bleibt die Wirbelsäule auch gerade. Fällt aber z. B. die Wirkung des linken Labyrinthes zu Folge Exstirpation desselben oder durch angemessene Drehung des Thieres aus, so erschlafft auch die an der linken Seite der Wirbelsäule befindliche Längsmuskulatur, die der rechten erhält zufolge ihres Tonus das Uebergewicht, und die Wirbelsäule krümmt sich nach rechts. Die Verbindung hier ist also nicht gekreuzt.

Die Coordination der unwillkürlichen Bewegungen des Kaninchens veranschaulicht nebenstehende schematische Zeichnung (Fig. 1).

Solange bei der Taube die Muskeln an beiden Seiten des Halses in gleicher Weise in Thätigkeit sind, befindet sich der Kopf in der „Mittelstellung". Werden beide Labyrinthe entfernt, so werden die Kopfbewegungen ungeordnet, das Thier hat die Herrschaft über die Bewegung seines Kopfes verloren. Entferne ich nur das linke Labyrinth, oder lasse ich in einer, durch bestimmte Drehung hervorzurufenden Körperhaltung nur das rechte Labyrinth in Thätigkeit, so wird sich der Kopf der Taube verdrehen, da sich nur die Muskeln von der linken Seite des Halses zusammenziehen, die der rechten hingegen erschlaffen. Das linke Labyrinth ist also mit den rechtsseitigen Halsmuskeln in Verbindung.

Sind beide Labyrinthe der Taube unversehrt, so wird diese mit beiden Füssen gleich weit ausschreiten. Sind beide Labyrinthe zerstört resp. entfernt, so knickt bald der eine, bald der andere Fuss ein.

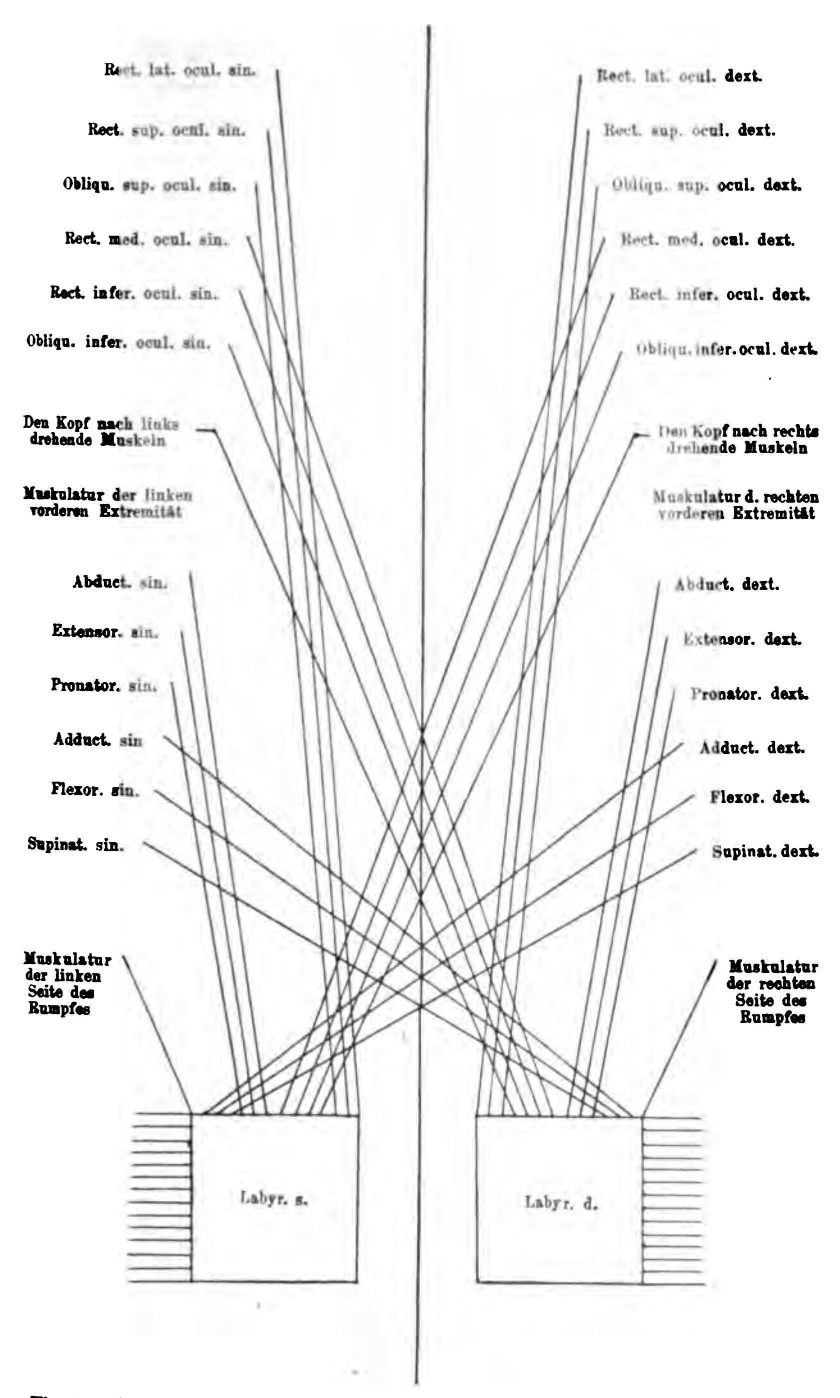


Fig. 1. Coordinationsschema der unwillkürlichen Bewegungen des Kaninchens.

Wird bloss das linke Labyrinth entfernt, so schreitet die Taube mit dem rechten Bein zu weit aus (beschreibt also einen Bogen nach links), während der linke Fuss fortwährend einknickt. Das linke Labyrinth steht also mit der Reflex h e m m u n g s einrichtung des rechten und mit den Muskeln (Beuger, Strecker u. s. w.) des linken Beines in Verbindung.

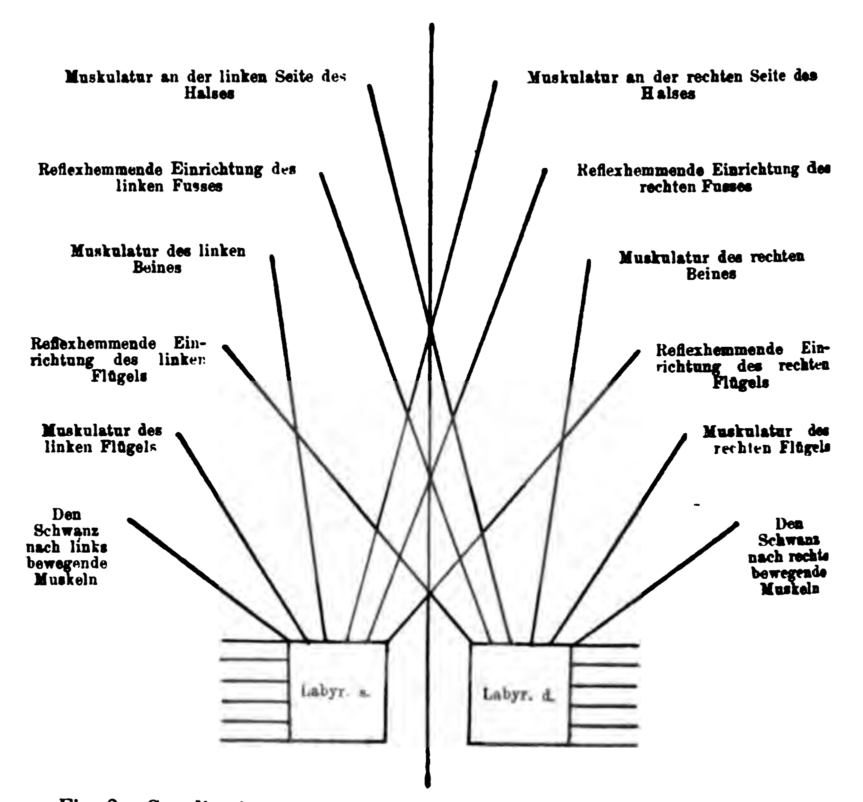


Fig. 2. Coordinationsschema der unwillkürlichen Bewegungen der Taube.

Werden beide Labyrinthe entfernt, so fliegt die Taube auch nach Jahren sehr unvollkommen. Ist bloss das linke Labyrinth entfernt, so ist der Flügelschlag links kraftlos, rechts dagegen übermässig. Die Verbindungen der Flügel mit den Labyrinthen sind also dieselben wie die der Beine.

Sind beide Labyrinthe der Taube unversehrt, so nimmt der Schwanz der Taube die „Mittelstellung" ein; wird nun das linke Labyrinth zerstört oder durch eine gewisse Drehung seine Wirkung ausgeschaltet, so dass nur das rechte Labyrinth in Wirksamkeit

bleibt, so wird der Schwanz nach rechts gehalten. Jedes Labyrinth ist demnach mit den gleichseitigen Schwanzmuskeln in Verbindung. Die Coordination der unwillkürlichen Bewegungen der Taube veranschaulicht vorstehende schematische Zeichnung (Fig. 2).

Die Bewegungen der hinteren Extremitäten der Kaninchen vermochte ich vor der Hand nicht zu analysiren, weil ich die Thiere nicht in der Art zu fixiren vermochte, dass ihre hinteren Gliedmaassen hierbei frei geblieben wären. Die an hystero-epileptischen Kranken gemachten, oben erwähnten Beobachtungen Högyes' ergaben, dass mit der rechten oberen (vorderen) Extremität die linke untere associirte Bewegungen zeigte. Jedoch hat auch jene Anschauung ihre Berechtigung, dass sich die hinteren Gliedmaassen mit den gleichseitigen vorderen in gleichem Sinne bewegen. So zeigen z. B. bei der Taube Flügel und Bein der gleichen Seite associirte Bewegungen. Das halbseitig operirte Kaninchen wälzt sich darum nach der beschädigten Seite hin, weil (abgesehen von der Muskulatur des Rumpfes) beide Extremitäten der operirten Seite kraftlos einknicken und beide Gliedmaassen der unversehrten Seite in einer zu starken Thätigkeit sind. (Wir müssen eigentlich auch hier, ebenso wie bei den Tauben, die Existenz einer Reflexhemmungseinrichtung annehmen, welche z. B. nach Entfernung des linken Labyrinthes ihren Einfluss auf die rechtsseitige Muskulatur einstellt.) Auch bei den diesbezüglichen, mit Hülfe des inducirten Stromes vorgenommenen Untersuchungen verhielten sich die Extremitäten der gleichen Seite in gleicher Weise. Erwäge ich alle diese Beobachtungen, so muss ich vor der Hand die Coordination der Bewegungen der hinteren Gliedmaassen als offene Frage erklären.

Nach den Versuchen Högyes', später Dreyfuss', unterliegt es keinem Zweifel, dass auch die Athmungs- und die Phonationsmuskeln mit dem Labyrinthe in Verbindung stehen. Ob aber diese Verbindung eine gekreuzte ist oder nicht, das kann ich vor der Hand auch nicht entscheiden.

Die beiden Labyrinthe erhalten die tonische Reflexinnervation der Muskulatur beider Körperhälften aufrecht. Erleidet eines der beiden oder erleiden beide Labyrinthe eine Beschädigung, so treten bei sämmtlichen Bewegungen des Körpers Störungen auf.

Schiff durchtrennte bei Hunden und Katzen auf der einen Seite die motorischen, auf der anderen die sensorischen Nervenwurzeln des Rückenmarks, und fand, dass die Thiere mit den

Extremitäten der einen Seite allzu grosse, ungeschickte Schritte machten, während die Gliedmaassen der anderen Seite gelähmt nachgezogen werden. Wenn ich aus der Aehnlichkeit dieser Resultate zu denen meiner Versuche einen Schluss ziehen darf, so möchte ich behaupten, dass jene Reflex**hemmungs**einrichtung, deren ich bei der Besprechung meiner Versuche an halbseitig operirten Kaninchen und Tauben bereits Erwähnung gethan, mit den sensorischen Nervenbahnen zusammenfällt. (Es wird dies auch durch meine mit Hülfe inducirter elektrischer Stromschläge ausgeführten Versuche wahrscheinlich gemacht.) Schreitet also z. B. eine linksseitig operirte Taube mit dem (ungeschickten) rechten Bein zu weit aus, so ist die sensorische Bahn dieses Fusses beschädigt; knickt das linke Bein kraftlos zusammen, so hat der motorische Nervenapparat dieser Extremität durch die Operation Schaden genommen.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Halle a. S.)

Ueber binoculare Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern.

Von

A. Tschermak und **P. Hoefer.**

(Mit 1 Textfigur.)

I. Vorbemerkungen.

Sehen wir beim Fixiren eines fernen Punktes ein nahes Object in ungleichnamigen Doppelbildern oder beim Fixiren eines nahen Punktes ein fernes Ding in gleichnamigen Doppelbildern, so sollten nach der älteren Projectionstheorie die beiden unocularen Eindrücke, die sogen. Halb- oder Trugbilder, in einer durch den Fixationspunkt gehenden krummen oder ebenen Fläche, und zwar auf den Richtungs- oder Visirlinien der zugehörigen Netzhautstellen, erscheinen. Diese Lehre wurde zuerst durch die Beobachtungen E. Hering's[1] (1862) widerlegt. Hält man nämlich vor und hinter ein fixirtes Object einen Finger, „so wird man von beiden Fingern Doppelbilder erhalten, die nicht etwa in gleicher Ferne mit dem Fixationsobjecte erscheinen. Vielmehr sieht man die beiden Trugbilder des näheren Fingers so weit vom Gesichte, als der wirkliche Finger erscheint, wenn man ihn fixirt, und ebenso liegt das Doppelbild des entfernten Fingers in der scheinbaren Ferne, die dieser Finger einnimmt, wenn man ihn einfach sieht“ (S. 144). Hering (§ 61 S. 152—155) verwerthete diese Beobachtung besonders gegen die Hülfstheorie, welche

1) Beiträge zur Physiologie. 2. Heft. Von den identischen Netzhautstellen. W. Engelmann, Leipzig 1862 (Mai). Vgl. auch: Bemerkungen zu Volkmann's neuen Untersuchungen über das Binocularsehen. Reichert-Du Bois' Arch. f. Physiol. 1864 S. 303—319.

A. Nagel[1]) (S. 99 ff.) für das Doppeltsehen bei angeblichem Projiciren nach Richtungslinien aufgestellt hatte.

Hering[2]) hat auch weiterhin (1864) die Frage nach dem scheinbaren Orte der Halbbilder am meisten gefördert. Neben dem Grundversuch, dass bei festgehaltener Fixation ein in gekreuzten Doppelbildern gesehenes Object näher, ein in ungekreuzten gesehenes ferner localisirt wird als der fixirte Punkt, führte Hering speciell folgendes Experiment an. Beobachtet man zwei gleiche Kugeln in gekreuzten Doppelbildern und bringt die beiden inneren Bilder zur Deckung, so erscheinen die äusseren Trugbilder näher als das verschmolzene Kugelbild, — bei Beobachten in gleichnamigen Doppelbildern hingegen ferner (S. 338—339).

Zudem hat Hering im Anschlusse an Panum (im Wesentlichen auch an Wheatstone) das Resultat behandelt, welches die haploskopische Combination eines Striches oder Drahtes seitens des einen Auges und zweier dazu parallel erscheinender Striche seitens des anderen Auges ergibt: der nur dem einen Auge sichtbare Strich erscheint näher oder ferner als der verschmolzene Eindruck beider Foveae, je nachdem er sich auf der temporalen oder auf der nasalen Netzhauthälfte abbildet (S. 341—342)[3]). — Ein Novum stellt Hering's Beobachtung dar bezüglich der verschiedenen Tiefenlocalisation der beiden Halbbilder eines Objects, wenn diese den gleichnamigen z. B. rechten Netzhauthälften zugehören. Stellt Hering ein Object etwas nach aussen von der Gesichtslinie des einen z. B. des linken Auges, so erscheinen die Trugbilder zunächst beide näher als der fixirte Punkt. „Fixire ich aber anhaltend fest und concentrire meine ganze Aufmerksamkeit möglichst auf die fixirte Stecknadel, so tritt das eine dem linken Auge (bezw. seiner nasalen Netzhauthälfte) angehörige Trugbild plötzlich hinter die Stecknadel. . . . Die geringste Schwankung des Blickes aber, oder auch nur der Gedanke an das zweite, näher erscheinende Trugbild, versetzt das andere sogleich wieder vor die Kernfläche: denn es tritt dann die Beziehung beider Bilder auf ein und dasselbe Object ein und stört den rein sinnlichen Eindruck“ (S. 340—341). Hering verwendete das Ergebniss der vorstehenden Versuche damals zur Stütze der Annahme unocularer Tiefenwerthe, und zwar antagonistischer Tiefenwerthe correspondirender Netzhautelemente, eines Nahewerthes der temporalen und eines Fernwerthes der nasalen Netzhauthälfte.

Nebenbei sei auch erwähnt, dass unter gewissen Umständen höhendistante Doppelbilder, sowohl pathologisch bedingte als künstlich erzeugte, in ungleichem Abstande vom Beobachter erscheinen, speciell das untere Halbbild näher zu

---

1) Das Sehen mit zwei Augen. C. F. Winter, Leipzig 1861.

2) Beiträge zur Physiologie. 5. Heft. Vom binocularen Tiefsehen. Kritik einer Abhandlung von Helmholtz über den Horopter. Siehe speciell § 126. Vom Orte der Trugbilder S. 335—342. W. Engelmann, Leipzig 1865.

3) Eine Specialuntersuchung über dieses Problem wird der Eine von uns (Hoefer) mittheilen.

stehen scheint, — wie dies Albrecht v. Graefe (1854), Förster (1859), Alfred Graefe (1860), A. Nagel (1862), Mauthner (1889), M. Sachs[1]) und R. Fröhlich[2]) beobachtet haben.

Kurz nach Hering's erstem Hinweise sagten sich auch Volkmann[3]) und Helmholtz[4]) von jener älteren Anschauung los und kamen gleichfalls zur Erkenntniss, dass nicht bloss mit einfach erscheinenden Eindrücken, sondern auch mit Doppelbildern ein Tiefeneindruck verknüpft sein kann. Helmholtz bemerkte diesbezüglich (Phys. Optik I. Aufl. S. 720, II. § 31 S. 868): „Am geringsten ist die Beurtheilung der Tiefendimensionen bei Objecten, welche in deutlich getrennten Doppelbildern erscheinen, um so geringer, je weiter diese aus einander treten.“ „Nur bei sehr weit getrennten Doppelbildern, wie sie namentlich von weit entfernten Objecten sich bilden, wenn ein naher Gegenstand fixirt wird, und an denen kaum noch die Zusammengehörigkeit beider Bilder erkannt wird, hört die binoculare Tiefenwahrnehmung auf“ (S. 721, 869).

Wie bekannt, haben Hering's grundlegende Untersuchungen über Stereoskopie weiterhin ergeben, dass ausschliesslich die Breitenverschiedenheit[5]), nicht auch die Höhenverschiedenheit der Eindrücke in den beiden Augen, also nur die „Querdisparation“, nicht auch die „Längsdisparation“, gleichartig gereizter Netzhautelemente zu einem stereoskopischen Effecte führt. Wird in dem einen Auge eine bestimmte Netzhautstelle gereizt und in dem anderen nicht die damit correspondirende, sondern eine nasal

---

1) Ueber die Ursachen des scheinbaren Näherstehens des unteren von zwei höhendistanten Doppelbildern. v. Graefe's Arch. f. Ophth. Bd. 36 Heft 1 S. 193—212. 1890.

2) Unter welchen Umständen erscheinen Doppelbilder in ungleichem Abstande vom Beobachter? v. Graefe's Arch. f. Ophpth. Bd. 41 Heft 4 S. 134—157. 1895.

3) Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. 2. Heft. Leipzig 1864. — Im Gegensatze zu seiner früheren Stellungnahme in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie Bd. 3 S. 320—321.

4) Ueber den Horopter (S. 1—60). 3. Bedeutung des Horopters beim Sehen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. Bd. 10 Heft 1 S. 27—40. 1864.

5) Diese so zu sagen äusserliche Bezeichnungsweise gilt für aufrechte Haltung von Kopf und Körper sowie für Primärstellung beider Augen, — genauer gesagt, für Wagrechtstehen derjenigen Elementenreihen, welche die Empfindung „Horizontal“ vermitteln, also der sog. Quermittelschnitte nach E. Hering.

davon abweichende, so entsteht [unter gewissen Bedingungen[1])] der Eindruck „ferner“. Mit zunehmender Nasaldisparation oder „gleichnamiger Querdisparation“ ist der Eindruck zunehmender Ferne verknüpft, mit Temporaldisparation oder „gekreuzter Querdisparation“ der Eindruck „näher als der Fixationspunkt bezw. Kernpunkt“.

Die gleichartige Reizung querdisparater Elemente führt bis zu einer gewissen Grenze — bezeichnet durch den Querdurchmesser des sogen. Panum'schen Empfindungskreises — zu binocularem Einfachsehen mit stereoskopischem Effect, jenseits dieser Grenze zum Doppeltsehen mit Tiefenwahrnehmung. Andererseits kann die gleichartige Reizung längsdisparater Elemente zwar auch bis zu einer gewissen Grenze — bezeichnet durch den Höhendurchmesser des sogen. Panum'schen Empfindungskreises — binoculares Einfachsehen vermitteln, jedoch ist damit keine neue Empfindungsqualität, kein Tiefeneindruck verknüpft.

Unser Sehorgan ist nach dieser von Hering begründeten Vorstellung von vornherein so organisirt, dass gewisse, sogen. correspondirende Längsreihen von Elementen bei gleichzeitiger und wesentlich gleichartiger, längerdauernder Erregung ihre Eindrücke als gerade, verticale Linien in einer und derselben frontalen Ebene erscheinen lassen: die paarweise Erregung nicht-correspondirender, sogen. disparater Längsreihen von Elementen erzeugt hingegen Eindrücke vor oder hinter jener Ebene. Das sensorische Doppelauge ist demnach im Sinne einer Längsstreifung mit Stereoskopiefunction differenzirt. Das folgende Schema Tschermak's mag diese These veranschaulichen: die beiden Augen sind, von hinten gesehen, durch zwei Kreise dargestellt.

Die Längsreihen A und A', B und B', C und C' sind correspondent und vermitteln den Eindruck „verticale Linie in der Kernebene“. Die Längsreihen A und C' (temporal gelegen zu A') sind temporaldisparat, vermitteln den Eindruck „näher wie die die Kernebene, vor der Kernebene“; die Längsreihen C und A' (nasal gelegen zu C') sind nasaldisparat und vermitteln den Eindruck „ferner, hinter der Kernebene“. — Bei Verschmelzung

1) Die mit jeder der beiden gleichzeitig gereizten, disparaten Netzhautstellen correspondirende Stelle im anderen Auge darf nicht zugleich von einem Contourenreize getroffen werden.

erscheint der Eindruck der Längsreihen A und C' unter Hemmung der Eindrücke von A', C und B und B' in der einem mittleren Längsreihenpaare B und B' zukommenden Sehrichtung: stereoskopisches Einfachsehen. Aber auch bei Ausbleiben von Verschmelzung ist mit den Doppelbildern von A und C' (Temporaldisparation) der Tiefeneindruck „näher", mit den Doppelbildern von C und A' (Nasaldisparation) der Tiefeneindruck „ferner" verknüpft.

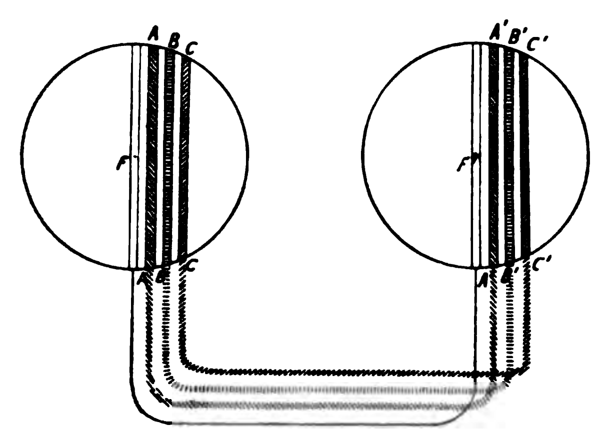


Fig. 1.

Nach den angeführten Beobachtungen früherer Untersucher kann zwar die Thatsache, dass auch bei Doppeltsehen, und zwar auf Grund von querdistanten Doppelbildern, eine binoculare Tiefenwahrnehmung stattfindet, als hinreichend gesichert bezeichnet werden. Doch scheint uns dieses wichtige Verhalten nicht allerseits die genügende Beachtung und Würdigung gefunden zu haben. Stellt doch die Tiefenwahrnehmung unter Verschmelzung beider Eindrücke, das stereoskopische Sehen im engeren Sinne, nur den präcisesten Specialfall dar für die Tiefenwahrnehmung mit querdisparaten Netzhautelementen überhaupt.

Wir hielten darum eine neuerliche Bestätigung der Beobachtungen von Hering, Volkmann und Helmholtz für nicht überflüssig und bemühten uns, das Problem der Tiefenwahrnehmung beim Doppeltsehen mit zwei Augen messend zu verfolgen. Eine solche Behandlung hat dieser Gegenstand unseres Wissens bisher noch nicht erfahren, während über Stereoskopie im engeren Sinne vorzügliche messende Untersuchungen in grösserer Zahl vorliegen.

Die Beobachtungen, über welche im Nachstehenden berichtet wird, sind durchwegs von P. Hoefer in den Jahren 1902 und 1903 angestellt worden; der Andere von uns musste sich wegen seines Mangels an stereoskopischem Sehen (bei anomaler Sehrichtungsgemeinschaft)[1]) auf die Leitung der Versuche beschränken. — Unsere Mittheilung schliesst sich in gewissem Sinne an die Studie an, welche A. Tschermak auf Grund der Beobachtungen T. Kiribuchi's als „Beitrag zur Lehre vom Längshoropter" (Ueber die Tiefenlocalisation bei Dauer- und bei Momentreizen) 1900 veröffentlicht hat[2]).

II. Methodik und Ergebnisse.

1. Methodische Bemerkungen.

Bei den Beobachtungen waren alle sogen. empirischen Motive der Tiefenlocalisation ausgeschlossen. Zu diesem Behufe war der Kopf der sitzenden Versuchsperson mittelst eines metallenen Gebisshalters festgestellt, der Blick durch ein Fixationsobject (zumeist ein schwarzes Scheibchen auf weissem Grunde in 2 m Entfernung) und gegebenen Falls noch durch besondere Vorrichtungen gefesselt; die Beobachtung war auf eine Anzahl linearer Objecte beschränkt. Die Versuchsperson hatte ein schwarzes Tuch über den Kopf geworfen und blickte durch eine querovale, geschwärzte Röhre (26 cm Breite, 20 cm Höhe, 35 cm Länge), welche am abgewendeten Ende einen rechteckig ausgeschnittenen Rahmen trug — von 18 cm Breite, 7 cm Höhe, in etwa 35 cm Abstand vom äusseren Augenwinkel. Es wurden dem Beobachter zumeist mattschwarz gestrichene Stricknadeln von gleicher oder verschiedener Dicke (Nr. 1 = 1,6 mm, Nr. 2 = 1,9 mm, Nr. 3 = 2,3 mm, Nr. 4 = 2,6 mm) und 20 cm Länge geboten, deren oberes und unteres Ende dem Blicke entzogen war. Es blieben demnach nur schwarze Striche oder Nadelstrecken von gleichem Oeffnungswinkel bezw. gleicher scheinbarer Länge, jedoch eventuell von verschiedener Dicke und in verschiedener Entfernung (gemessen von einer durch die beiden äusseren Augenwinkel bezw. Knotenpunkte gelegten Frontalebene) auf gleichmässig weissem Grunde sichtbar. Die Nadeln waren in Bleiklötzchen von 1 qcm

1) Ueber anomale Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden. Arch. f. Ophth. Bd. 47 Heft 3 S. 508—550. 1899, speciell II. D. Der Mangel binocularer Tiefenwahrnehmung S. 529—530.

2) Pflüger's Arch. Bd. 81 S. 328—348. 1900.

Bodenfläche senkrecht eingelassen und standen auf einer mit Millimeterpapier bespannten wagrechten Holzplatte; nur eine Nadel war schwebend aufgehängt und durch eine Rollenführung längs eines Millimeterstabes von vorne nach hinten verschieblich.

2. Vorversuche.

An der geschilderten Anordnung wurde zunächst der Hering'sche Grundversuch vielfach wiederholt und bestätigt. Es wurde hiebei eine median oder seitlich aufgestellte Nadel in bestimmter Entfernung binocular fixirt und unterdessen eine zweite vor oder hinter derselben median oder seitlich eingeschoben oder herabgesenkt oder durch Wegziehen eines Schirmes aufgedeckt, so dass die letztere deutlich in gekreuzten oder in gleichnamigen, gleichseitigen oder ungleichseitigen Doppelbildern erschien. Stets erhielt der Beobachter den Eindruck, „näher oder ferner wie die fixirte Nadel“ und zwar mehr oder weniger nahe oder ferne: er bezieht dabei die beiden Bilder auf ein einziges Object. Jener Eindruck ist zu Anfang besonders deutlich und verliert bei längerer Beobachtung rascher oder langsamer an Eindringlichkeit, was übrigens individuell recht verschieden zu sein scheint. Besondere Versuche lehrten, dass derselbe Tiefeneindruck für das doppelt gesehene Object auch bei Momentbelichtung zu erhalten ist: von der Technik dieser Versuche wird später berichtet werden. — Die hier erwähnten Beobachtungen bestätigen also die Hering'sche Lehre, dass mit querdistanten Doppelbildern, wenigstens zu Anfang der Beobachtung und bei Bezogenwerden beider Bilder auf ein Object, ein Tiefeneindruck verknüpft ist.

3. Messung der Genauigkeit der Tiefenlocalisation auf Grund von Doppelbildern bei Dauerreizen.

Um die Präcision der Tiefenwahrnehmung bei Doppeltsehen zu kennzeichnen, maassen wir bei Verwendung von Dauerreizen, d. h. für die Beobachtungsdauer von 10—15″, die Schwankungsbreite oder Gleichheitsbreite, innerhalb welcher bei ruhendem Blick zwei in Doppelbildern erscheinende Nadeln als vom Beobachter scheinbar gleich entfernt eingestellt werden. Wir prüften nämlich die Aussage für eine grössere Anzahl von Einstellungen, welche der Versuchsleiter ohne Wissen des Beobachters vorgenommen hatte, und ermittelten speciell die Umschlagsgrenzen von „kein Unterschied“ zu „eben vorne oder näher“ und „eben hinten oder ferner“. Der Beobachter fixirte in diesen Versuchen stets einen medianen schwarzen Punkt

auf gleichmässig weissem Grunde in 2 m Entfernung. Die eine Nadel, in den Protokollen als „Standnadel“ bezeichnet, wurde in einer bestimmten näheren Distanz (40—80 cm) median oder seitlich aufgestellt. Die zweite, schwebende Nadel, in den Protokollen als „Prüfnadel“ bezeichnet, wurde vom Versuchsleiter absatzweise längs einer Führung verschoben. Die jeweilige Einstellung der beiden Nadeln konnte leicht auf der Millimetertheilung der Bodenfläche abgelesen werden.

Die genaue Medianstellung des Fixirpunktes wurde durch Abmessung vom festgestellten Kopfe des Beobachters aus erreicht. Die correcte Medianlage der als „Mediane“ bezeichneten Linie der Millimetertheilung, von der aus der Seitenabstand abgelesen wurde, controlirten wir dadurch, dass die vor dem eigentlichen Versuche daselbst aufgestellten Nadeln mit ihren Halbbildern den Fixationspunkt symmetrisch einzufassen schienen. Anderenfalls wurde die auf einer wagrechten Holzplatte aufgespannte Millimetertheilung verschoben, bis jenes Ziel erreicht war.

Während der Vornahme von Veränderungen an den Nadeln geschah natürlich Abblendung durch einen Schirm. Zu Anfang jeder Einzelbeobachtung war nur der Fixationspunkt und die eine Nadel sichtbar gemacht, dann erst wurde die zweite, seitlich gelegene durch Wegziehen eines Stückes schwarzen Cartons aufgedeckt und blieb dies etwa 10—15″, selten 20″. Jede Einzelbeobachtung dauerte demnach etwa 15—30″; dazwischen lagen Pausen von etwa 30″ Länge. Für jede Einstellung wurden zwei Einzelbeobachtungen gemacht. Der Beobachter gab statt einer Aussage verabredete Zeichen mit der Hand, der Versuchsleiter protokollirte dieselben.

Von den sehr zahlreichen Versuchsreihen seien einige als Beispiele angeführt. Die nachstehende Tabelle I zeigt zugleich, dass bei symmetrischer Aufstellung der beiden Nadeln die Umschlagsgrenzen und damit das Bereich, innerhalb dessen die Prüfnadel noch in gleicher Entfernung wie die Standnadel erschien, — im Folgenden als „Gleichheitsbreite“ bezeichnet, — wachsen, je grösser der Beobachtungsabstand genommen wird. Einer und derselben Strecke nach der Tiefe, beispielsweise der Gleichheitsbreite 5 cm, entspricht ja in zunehmender Entfernung ein immer kleinerer Oeffnungswinkel für die Streckeneinheit in den beiden Augen. Das Streckenmaass für das Tiefenunterscheidungsvermögen müsste also mit der Entfernung wachsen, auch wenn das letztere selbst an sich

gleich bliebe. — Das Beibehalten desselben Abstandes der Nadeln von der Medianen führt andererseits dazu, dass die Bilder der Nadeln in beiden Augen bei zunehmender Beobachtungsentfernung Netzhautstellen von geringerer oder von grösserer Excentricität und damit von besserem oder schlechterem Tiefenunterscheidungsvermögen (vergl. Tabelle III) treffen. Wenn die Nadeln ausserhalb des Winkels der beiden Gesichtslinien (1° 50′)[1]) und ausserhalb der Pupillardistanz (64,1 mm, — mit Helmholtz'schen Visierzeichen bestimmt) stehen, also von der Medianen um mehr als die halbe Pupillardistanz (32 mm) entfernt sind, bedingt Wachsen der Entfernung beiderseits Abbildung auf weniger excentrischen Netzhautstellen, also auf Stellen mit besserem Tiefenunterscheidungsvermögen. Die anderen Specialfälle auszuführen, ist überflüssig.

In den Versuchen mit symmetrischer Aufstellung beider Nadeln bleibt für 3 cm (halbe Pupillardistanz 32 mm) die Excentricität fast constant, für 6 cm und 9 cm erweist sich die Abnahme des Oeffnungswinkels für die Streckeneinheit als wirksamer wie die Minderung der Bildexcentricität: Die Umschlagsgrenzen bezw. die Gleichheitsbreite werden im Streckenmaass weiter.

Tabelle I. Genauigkeit der Tiefenlocalisation bei ungleichseitiger, symmetrischer Aufstellung.

A. Die Nadeln je 3 cm rechts und links von der Medianen; die linksseitige, Dicke Nr. 1, fix als Standnadel, — die rechte, Dicke Nr. 4, variirt als Prüfnadel.

Entfernungen der Standnadel	50	60	70	80 cm
Versuchsreihe A. 19. Juni 1902				
Umschlagsgrenzen	48 : 53,5	55,5 | 63,5	66 : 74,5	75,5 | 85 cm
Gleichheitsbreite	5,5	7,0	8,5	9,5 cm
Versuchsreihe B. 19. Juni 1902				
Umschlagsgrenzen	48 | 53	57,5 63,5	66,5 | 74,5	75,5 | 84,5
Gleichheitsbreite	5—5,5	6—6,5	8,0	9,0 cm
Versuchsreihe A. 30. Juni 1902, beide Nadeln Nr. 1				
Umschlagsgrenzen	48 : 52	57 62	66,5 | 72	76 | 82,5
Gleichheitsbreite	4,0	5,0	5,5	6,5 cm
Versuchsreihe B. 30. Juni 1902				
Umschlagsgrenzen	48 | 52	57 62	66,5 | 72	77,5 | 82
Gleichheitsbreite	4,0	5,0	5,5	6,5—7,0 cm

1) Der Abstand jeder Gesichtslinie von der Medianen beträgt für den Beobachter P. Hoefer: für 45 cm Beobachtungsdistanz 24,8 mm, 50 cm = 24,0 mm, 60 cm = 22,4 mm, 70 cm = 20,8, 80 cm = 19,2.

B. Die Nadeln je 5 cm rechts und links von der Medianen; die linke, Dicke Nr. 4, fix als Standnadel, — die rechte, Dicke Nr. 1, variirt als Prüfnadel.

Entfernungen der Standnadel	40	45	55	60 cm
	Versuch 12. Mai 1902	Versuch 29. Mai 1902	Versuch 29. Mai 1902	Versuch 2. Juni 1902
Umschlagsgrenzen	38,7 | 42	40 | 46	50 | 58	52 | 65 cm
Gleichheitsbreite	3,3	6,0	8,0	13,0 cm

Bei Aufstellung beider Nadeln auf der gleichen Seite in den folgenden speciellen Versuchen compensirt (im Streckenmaass; im Winkelmaass Uebercompensation!) das Hereinrücken der Nadelbilder auf der Netzhaut den Effect der Abnahme des Oeffnungswinkels: die Umschlagsgrenzen bezw. die Gleichheitsbreite sind für die Aufstellung 3 und 6 cm seitlich und für die Entfernungen 50—80 cm angenähert gleich (5—6 cm).

Tabelle II. Genauigkeit der Tiefenlocalisation bei gleichseitiger Aufstellung.

Beide Nadeln rechts von der Medianen, die eine 3 cm rechts, Dicke Nr. 1, fix als Standnadel, — die andere 6 cm rechts, Dicke Nr. 1, variirt als Prüfnadel.

Entfernungen der Standnadel	50	60	70	80 cm
Versuchsreihe 23. Juni 1902				
Umschlagsgrenzen	47,5 | 53,5	57 | 63,5	66,5 | 73	77 | 83 cm
Gleichheitsbreite	6,0	6,5	6,0—6,5	6,0
Versuchsreihe 24. Juni 1902				
Umschlagsgrenzen	48 | 53,5	57,5 | 62,5	67 | 73	77 | 83
Gleichheitsbreite	5,5	5,0	6,0	6,0
Versuchsreihe 26. Juni 1902 Standnadel 3 cm rechts, Dicke 1 Prüfnadel 6 cm rechts, Dicke 4				
Umschlagsgrenzen	47,5 | 52,5	57,5 | 62,5	67,5 | 72,5	77 | 82,5
Gleichheitsbreite	5,0	5,5 (3. Juli 5,5)	5,0	5,5
Versuchsreihe 27. Juni 1902				
Umschlagsgrenzen	47,5 | 52,5	57,5 | 62,5	67 | 72	77,5 | 82,5
Gleichheitsbreite	5,0	5,0—5,5	5,0—5,5	5,0—5,5

Anhang: Versuche 15. Mai 1902.

A. Standnadel, Dicke Nr. 4, median, — Prüfnadel, Dicke Nr. 1, 9 cm rechts.

Entfernung der Standnadel	40	45	50 cm
Umschlagsgrenzen	37,5 | 42,5	43,5 | 47,5	47,5 | 52,5
Gleichheitsbreite	5,0	4,0	5,0 cm

B. Standnadel, Dicke Nr. 4, 4,5 cm links, — Prüfnadel, Dicke No. 1,6 cm rechts.

Entfernung der Standnadel	40 cm
Umschlagsgrenzen	38,5 | 44,5
Gleichheitsbreite	6,0 cm

Die Abnahme, welche das Tiefenunterscheidungsvermögen auf Grund von Doppelbildern bei wachsender Excentricität der Bilder erfährt, sei durch Tabelle III zahlenmässig illustrirt. In diese sind auch Versuche aufgenommen, welche es gestatten, den Einfluss der verschiedenen Aufstellungsweisen (symmetrisch, asymmetrisch, gleichseitig) und damit der verschiedenen Bildexcentricität unmittelbar zu vergleichen.

Tabelle III. Einfluss der Excentricität auf die Gleichheitsbreite.

I. Ungleichseitige, symmetrische Aufstellung. Standnadel, Dicke Nr. 1, links, in 60 cm Abstand; Prüfnadel, Dicke Nr. 4, rechts, variirt.

Abstand jeder Nadel von der Medianen	3	6	9 cm
Versuch 18. Juni 1903			
Umschlagsgrenzen	57 | 63	56 | 64	55 | 65 cm
Gleichheitsbreite	6,0—6,5	8,0	10,0 cm

II. Gleichseitige Aufstellung. Standnadel, Dicke Nr. 1, 3 cm rechts, fix, in 60 cm Abstand; Prüfnadel, Dicke Nr. 4, variirt.

Abstand der Prüfnadel von der Medianen	6	9 cm
Versuch 18. Juni 1903.		
Umschlagsgrenzen	55 | 64	55 | 66
Gleichheitsbreite	9,0	11,0

III. Vergleich verschiedener Aufstellungsweise in 60 cm Beobachtungsabstand.

	Umschlags-grenzen	Gleichheits-breite
Versuche 16. Juni 1902.		
1. Standnadel Dicke Nr. 1, 3 cm rechts . . . . Prüfnadel Dicke Nr. 4, 6 cm rechts	56 | 65	9,0
2. Standnadel Dicke Nr. 1, median . . . . . . Prüfnadel Dicke Nr. 4, 6 cm rechts	56 | 64	8,0
3. Standnadel Dicke Nr. 1, 3 cm links . . . . . Prüfnadel Dicke Nr. 4, 6 cm rechts	57 | 64,5	7,5

	Umschlags-grenzen	Gleichheits-breite
Versuche 17. Juni 1902.		
4. Standnadel Dicke Nr. 1, 6 cm rechts . . . . Prüfnadel Dicke Nr. 4, 3 cm rechts	56,5 | 65	8,5
(Vers. 1. Juli 1902 beide Dicke Nr. 1, und 3 cm rechts.	57 | 62	5,0)
5. Standnadel Dicke Nr. 1, median . . . . . . Prüfnadel Dicke Nr. 4, 3 cm rechts	56 | 64	7,5 8,0
(Vers. 1. Juli 1902 beide Dicke Nr. 1, median und 3 cm rechts	57,5 | 62	4,5)
6. Standnadel Dicke Nr. 1, 3 cm links . . . . . Prüfnadel Dicke Nr. 4, 3 cm rechts	56,5 | 63,5	7,0 7,5
(Vers. 1. Juli 1902 beide Dicke Nr. 1, 3 cm rechts und links	57,5 | 62	4,5)

Es sei auch eine Anzahl von Versuchen notirt, in welchen drei Nadeln bei Doppeltsehen in eine frontale Ebene geordnet werden sollten. Es waren dabei zwei Nadeln als „Standnadeln" in derselben Beobachtungsdistanz fix aufgestellt, der dritten, als „Prüfnadel", wurden vom Versuchsleiter verschiedene Stellungen gegeben; über diese machte der Beobachter in der früher geschilderten Weise seine Angaben.

Tabelle IV. Genauigkeit der Tiefenlocalisation für drei Nadeln.

Versuche vom 3. Juli 1902.

Zwei Standnadeln Dicke Nr. 1, fix, — Prüfnadel Dicke Nr. 4, variirt. Beobachtungsdistanz 60 cm.

	Umschlags-grenzen	Gleichheits-breite
1. Die beiden Standnadeln symmetrisch je 3 cm von der Medianen, die Prüfnadel median . . .	57,5 | 63	5,5
2. Die eine Standnadel 3 cm links, die andere median; die Prüfnadel 3 cm rechts von der Medianen. .	56,5 | 63,5	7,0
3. Beide Standnadeln rechts, die eine 3 cm, die andere 6 cm von der Medianebene; die Prüfnadel median	58 | 64	6,0
4. Die eine Standnadel median, die andere 3 cm rechts; die Prüfnadel 6 cm rechts von der Medianen	56,5 | 63	6,5

Durch besondere Versuche überzeugten wir uns, dass die Dicke der Nadeln, ebenso Gleichheit oder Verschiedenheit der gleichzeitig verwendeten zwei oder drei Nadeln an Dicke, keinen

wesentlichen Einfluss auf die Tiefenlocalisation besitzt. In zahlreichen Beobachtungen wurde ferner eine Nadel glänzend belassen, die andere geschwärzt oder eine hellroth gestrichene und und eine mattschwarze verwendet. Während diese Verschiedenheit an Helligkeit oder Farbe auf die Anordnung bezw. Tiefenauslegung bei einäugigem Sehen von erheblichem Einflusse war, erwies sie sich indifferent für die Tiefenlocalisation auf Grund von Doppelbildern.

Bei der vielfachen Variation der Aufstellung an Entfernung und an Abstand von der Medianen wurde stets darauf besonders geachtet, dass die zwei bezw. drei Nadeln in deutlich getrennten Doppelbildern erschienen [1]).

Treten bei gewissen Aufstellungen das eine unoculare Bild oder Halbbild der einen und das eine Halbbild der anderen Nadel zusammen, so war keine Aussage über die Anordnung der Nadeln möglich: Der binocular verschmolzene Eindruck und die beiden unocularen Eindrücke erschienen in etwa gleicher Entfernung, zugleich ohne den subjectiven stereoskopischen Zwang, sie vor den Fixationspunkt zu localisiren. Der binoculare Eindruck ist ja dann von correspondirenden Netzhautstellen vermittelt [2]). Solche Aufstellungen mit Deckung oder nur geringer Trennung der Doppelbilder wurden daher sorgfältig vermieden.

Andererseits erwies es sich für das Vermögen der Tiefenlocalisation bei Doppeltsehen als principiell gleichgültig, wie die beiden Paare der Halbbilder zu einander und zum Fixationspunkte liegen, ob also (wie in unseren messenden

---

1) Für ein medianes Object in 45—80 cm Beobachtungsentfernung beträgt bei 64,1 mm Pupillardistanz der geometrische Disparationswinkel 6° 18′ 6″ — 2° 44′ 52″. — Stereoskopisches Einfachsehen ist bei Ungeübten und bei Momentbeleuchtung stereoskopischer Figuren bis höchstens 2 mm bezw. 7° 38′ Querdisparation der Netzhautbilder möglich (Schoeler, Zur Identitätsfrage. Arch. f. Ophth. Bd. 19 H. 1 S. 1—55, bes. S. 20. 1873). Hingegen fand A. W. Volkmann (Die stereoskopischen Erscheinungen in ihrer Beziehung zu der Lehre von den identischen Netzhautpunkten. Arch. f. Ophth. Bd. 5 H. 2 S. 1—100 1859 und Berichte d. sächs. Ges. d. Wiss. 1859) für sich nur etwa 0,2 mm bezw. ca 46′.

2) Vgl. E. Hering, Hermann's Handbuch der Physiologie Bd. 3 (1) S. 431 „Solche durch Zusammenfallen zweier nicht zusammengehöriger Trugbilder entstehende Sehdinge werden je nach den Umständen entweder in eine Entfernung localisirt, die den beiden zugehörigen wirklichen Dingen annähernd entspricht, oder aber in die Entfernung, welche eben der Blickpunkt hat.“

Versuchen) die einzelne Nadel in einseitigen oder doppelseitigen gekreuzten Doppelbildern oder, wie in anderen Versuchen, in gleichnamigen Doppelbildern gesehen wird.

Auf die bekannte Thatsache, dass die beiden zugehörigen Halbbilder ohne Weiteres auf ein Object, also „richtig“, auf einander bezogen werden, kommen wir noch später zurück. Möglichste Gleichheit der beiden Nadeln im Gegensatze zu ungleicher Dicke oder Helligkeit oder Farbe beeinträchtigte in unseren Versuchen die „richtige“ Beziehung je zweier Halbbilder in keiner merkbaren Weise.

4. Messung der Genauigkeit der Tiefenlocalisation auf Grund von Doppelbildern bei Momentreizen.

Zur Ergänzung des Befundes, den wir bei Dauerreizen, d. h. für die Beobachtungsdauer von 10—15″ gemacht hatten, unternahmen wir eine analoge Untersuchung unter Verwendung von Momentreizen. Eine solche erschien uns auch desshalb geboten, weil gegenüber den Zeitversuchen noch der Einwand möglich wäre, dass die Tiefenlocalisation hiebei nicht eigentlich auf Grund von Doppelbildern erfolge, sondern dass zeitweilige Schwankungen, speciell Zunahme des Convergenzgrades, zu temporärem stereoskopischen Einfach-Erscheinen und damit erst zur Tiefenlocalisation führen. Wir konnten zwar diesen Einwand im Wesentlichen auch bei weiteren Dauerversuchen ausschliessen, indem wir Testobjecte in beiden Gesichtslinien anbrachten und auf Grund des bleibenden Combinationsbildes feststellten, dass während der Beobachtungsdauer derselbe Convergenzgrad festgehalten wurde.

Ueber diese Vorsichtsmaassregel, welche wir speciell beim Vergleich binocularer und unocularer Localisation verwendeten, wird im nächsten Abschnitte genauer berichtet werden.

Am sichersten liess sich aber die Thatsache, dass wirklich mit querdisparaten Doppelbildern ein unmittelbarer Tiefeneindruck von nicht geringer Präcision verknüpft ist, mittelst Momentbelichtung feststellen. Zudem war aus grösseren Versuchsreihen ein zahlenmässiger Vergleich für die Genauigkeit der Tiefenlocalisation bei Dauerreizen und bei Momentreizen zu gewinnen.

Die Versuchsanordnung war eine ganz ähnliche wie bei den Beobachtungen mit Dauerreizen. Nur war der Raum ganz verdunkelt. Als Fixationspunkt, wie früher in 2 m Distanz und medianer

Lage, diente ein Lichtzeichen. Auf die grosse weisse Hintergrundstafel war nämlich an geeigneter Stelle ein kleiner Spiegel in passender Neigung aufgeklebt, so dass er das Licht einer seitlich aufgestellten Petroleumlampe gerade in die Augen des Beobachters warf. Die Lampe war sonst völlig lichtdicht eingehüllt: ein kleiner Ausschnitt in dem schwarzen Cylinder liess nur eine gewisse Lichtmenge auf den Spiegel fallen, welche durch Einschieben mehrerer Lagen transparenten Papiers vor den Ausschnitt passend regulirt werden konnte. Die Lichtstärke des Fixirzeichens wurde sorgfältig so gewählt, dass zwar dasselbe deutlich war, hingegen der von wenig zerstreutem Lichte getroffene Hintergrund bezw. die schwarzen Nadeln vor demselben dauernd unsichtbar blieben. Da die Lichtempfindlichkeit während des Aufenthaltes im Dunkelzimmer zunahm, wurde immer wieder von Neuem auf Unsichtbarbleiben der Nadeln geprüft und gegebenen Falls die Lichtstärke des Fixationszeichens entsprechend vermindert. Fixirung und Umhüllung des Kopfes, Röhre mit Ausschnitt, Nadelaufstellung waren genau so, wie früher beschrieben. — Durch momentane Belichtung des weissen Hintergrundes wurden die Nadeln als schwarze Stäbe von gleichem Oeffnungswinkel auf hellem Felde sichtbar. Die Momentbelichtung geschah mittelst einzelner Entladungsfunken einer grossen, seitlich neben der oben erwähnten Petroleumlampe aufgestellten Influenzmaschine. Jede einzelne Entladung wurde vom Versuchsleiter vorher angekündigt und damit der Beobachter zu genauer binocularer Fixation des Lichtzeichens aufgefordert. Der Versuchsleiter besorgte auch mittelst einer sonst dunkelgestellten Kerze die Einstellung der Nadeln sowie die Ablesung; der Beobachter schloss inzwischen die Augen. Für jede Einstellung wurden mehrere Momentbelichtungen in grösseren Intervallen (1/4 Minute bis mehrere Minuten) gemacht und die Angaben des Beobachters protokollirt. Der Beobachter gewöhnte sich auch bei dieser Einrichtung rasch an manche unvermeidliche Störungen, wie sie speciell durch das Schlagen der Funken verursacht wurden, und gelangte bald zu sehr sicheren Angaben. Allerdings war die Anstrengung seiner Augen nicht unerheblich. — Jedes Mal wurde auch besonders darauf geachtet, dass die zwei Nadeln deutlich in vier Halbbildern erschienen.

Einige der zahlreichen Versuche seien zu folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle V. Genauigkeit der Tiefenlocalisation bei Momentreizen.

Standnadel Dicke Nr. 1, 3 cm rechts von der Medianen, fix. Prüfnadel Dicke Nr. 1, 6 cm rechts, variirt.

Entfernung der Standnadel	50	60	70	80 cm
	Versuch 20. Febr. 1903	Versuch 19. Febr. 1903	Versuch 23. Febr. 1903	Versuch 24. Febr. 1903
Umschlagsgrenzen. .	48 | 53	57 | 63	67 | 74	76 | 85
Gleichheitsbreite . .	5,0	6,0	7,0	9,0 cm

Beim Vergleich mit der analogen Tabelle II für Dauerreize fällt auf, dass die Werthe für 50 und 60 cm Beobachtungsentfernung in beiden Fällen fast gleich sind, obzwar die subjective Sicherheit bei Dauerreizen grösser ist als bei Momentreizen. Dieses Verhalten steht mit der Erfahrung im Einklang, dass der Tiefeneindruck auf Grund von Doppelbildern nur im Anfang der einzelnen Beobachtung deutlich ist und bei längerer Dauer derselben an Deutlichkeit verliert. Nach einer gewissen Zeit, welche individuell stark verschieden zu sein scheint, rücken die beiden unocularen Eindrücke oder Halbbilder geradezu in dieselbe Entfernung wie der fixirte Punkt bezw. in die sog. Kernebene. — Hingegen bedingt bei Momentbelichtung die wachsende Entfernung eine gewisse Zunahme der Gleichheitsbreite: das Hereinrücken der Bilder der äusseren Nadel auf Netzhautstellen von geringerer Excentricität vermag also in diesem Falle den Effect der Abnahme des Oeffnungswinkels im Streckenmaass nicht ganz zu compensiren (vergl. oben).

Auf jeden Fall beweisen die durch obiges Beispiel illustrirten Versuche mit Momentbelichtung, dass die Tiefenlocalisation auf Grund von Doppelbildern nicht auf etwaige Blickschwankungen, speciell nicht auf Zunahme des Convergenzgrades und auf consecutives stereoskopisches Einfachsehen zurückgeführt werden kann.

5. Vergleich der Tiefenlocalisation bei unocularem Sehen und bei binocularem Sehen in Doppelbildern.

In weiteren Versuchen wurde die Einstellung bezw. sog. Beurtheilung der Nadeln hinter einander bei unocularem Sehen und bei binocularem Sehen in Doppelbildern geprüft. Diese Beobachtungen

betrafen zugleich in directer Weise den möglichen Einwand, die Tiefenlocalisation in den bisherigen Versuchen sei eine unoculare Tiefenauslegung des einen oder des anderen Halbbildes jeder Nadel, nicht aber eine binoculare Tiefenwahrnehmung auf Grund der Doppelbilder. Allerdings erscheint dieser Einwand unseres Erachtens schon bei indirecter Prüfung als kaum stichhaltig.

Die einschlägigen Versuche wurden mit der oben geschilderten Anordnung im Hellzimmer gemacht. Der Fixationspunkt, ein schwarzes Scheibchen auf weissem Grunde, blieb während der ganzen Dauer jeder Einzelbeobachtung binocular sichtbar. Die Beibehaltung desselben Convergenzgrades wurde dadurch noch controlirt, dass in jede Gesichtslinie in etwa 50 cm Abstand ein lothrechter Coconfaden gebracht war, welcher über bezw. unter der Höhe des Fixationspunktes eine kleine Perle trug. Nur so lange die beiden Gesichtslinien und damit die Längsmittelschnitte genau auf den Fixationspunkt eingestellt sind, erscheinen die beiden Perlen und das fixirte Scheibchen genau in einer verticalen Linie, — genauer gesagt, das centrumnahe Halbbild der einen Perle erscheint oberhalb, das centrumnahe Halbbild der anderen Perle unterhalb des binocularen Fixationspunktes. Das stark excentrische Halbbild jeder Perle im Auge der anderen Seite stört die Beobachtung nicht. — In anderen Versuchen wurde die „Sicherung" der Gesichtslinien dadurch erreicht, dass man in etwa 50 cm Abstand von unten her bis nahe an jede Gesichtslinie je eine feine Nadel (Nähnadel) lothrecht aufragen liess: die Halbbilder der genau gleichen Nadelspitzen erscheinen verschmolzen als schwarzer Strich unterhalb des Fixationspunktes. Eine Aenderung des Convergenzgrades liess die beiden Nadelhalbbilder auseinanderfallen.

In beiden Fällen gibt das dauernd gleichmässige Bestehen des Combinations- bezw. Deckbildes die Garantie dafür, dass ein und derselbe Convergenzgrad, die „richtige" Einstellung beider Gesichtslinien während der Dauer jeder Einzelbeobachtung beibehalten wird. An diese weitere Beanspruchung des Beobachtungsvermögens und der Aufmerksamkeit gewöhnte sich übrigens der Beobachter sehr rasch.

Am geeignetsten zur Beseitigung des oben skizzirten Einwandes und zum Vergleiche der unocularen Tiefenauslegung und der binocularen Tiefenlocalisation erschienen uns solche Versuche, bei welchen nicht bloss der Fixirpunkt, sondern auch die eine Nadel,

die sog. Standnadel (meist mattschwarz), während der ganzen Dauer jeder Einzelbeobachtung *binocular sichtbar* bleibt. Die andere Nadel, die sog. Prüfnadel (meist hellroth), wird hingegen bei unocularer Sichtbarkeit auf scheinbar gleiche Entfernung mit der Standnadel eingestellt und hierauf binocular geprüft. Die Abblendung des einen Halbbildes der Prüfnadel, und zwar des Halbbildes im Auge derselben Seite, geschah dadurch, dass von der einen Seite her ein Blatt schwarzen Cartons in passender Weise vor den querrechteckigen Beobachtungsrahmen vorgeschoben wurde. Dann verfuhren wir meist folgendermaassen. Der Versuchsleiter suchte für die Prüfnadel eine so weit nach vorne oder hinten von der „richtigen" Lage abweichende Stellung auf, dass jene bei unocularem Sehen und bei mehrmaliger Controle noch entschieden als gleich entfernt mit der Standnadel erschien. Dann wurde der Blendschirm weggezogen und die Localisation der nunmehr binocular in Doppelbildern gesehenen Prüfnadel angegeben. Hierauf wurde eine Anzahl verschiedener Einstellungen der Prüfnadel binocular geprüft und so die Umschlagsgrenzen bezw. die Gleichheitsbreite bestimmt. — In anderen Versuchen wurde auch zuvor bei unocularer Sichtbarkeit der Prüfnadel eine Anzahl verschiedener Einstellungen der Prüfung oder sog. Beurtheilung unterzogen.

Die auf S. 317 stehende Tabelle gibt die Protokolle von einigen unserer Versuche wieder.

Die mitgetheilten Beobachtungen genügen wohl zum Beweise, dass die Tiefenlocalisation beim Doppeltsehen keine unoculare Tiefenauslegung auf Grund des einen oder des anderen Halbbildes ist, dass vielmehr beide Halbbilder zusammen dafür bestimmend sind, die Tiefenlocalisation beim Doppeltsehen also eine wahrhaft binoculare Leistung darstellt.

III. Schlussbetrachtungen.

Die im Vorstehenden mitgetheilten Beobachtungen erbringen die systematische Bestätigung und Begründung der Lehre von *Hering*, *Volkmann*, *Helmholtz*, der zu Folge *querdisparate Eindrücke eines Objects auch dann von binocularer Tiefenwahrnehmung begleitet sind, wenn sie getrennt, als Doppelbild, erscheinen.* Die Versuche mit Momentbelichtung, mit Sicherung der Augenstellung und mit Vergleich der unocularen Tiefenauslegung und der binocularen Tiefenlocalisation bei Doppelt-

Tabelle VI. Vergleich unocularer und binocularer Einstellung.

I. Standnadel, Dicke Nr. 1, 3 cm rechts von der Medianen, schwarz, fix, — Prüfnadel, Dicke Nr. 1, 6 cm rechts, roth, variirt. Distanz der Standnadel 60 cm.

	A Versuch 8. Januar 1903		*B* Versuch 12. Januar 1903		*C* Versuch 20. Januar 1903 (gleichlautend Versuch 22. Jan. 1903)	
	unocular	binocular	unocular	binocular	unocular	binocular
Einzelne Einstellungen	53 gleich 51, 52 kein deutlicher Unterschied, vielleicht näher 65 gleich 70 ferner	53 deutlich näher — 65 deutlich ferner —	54 gleich 53 vielleicht näher 65 gleich 66 vielleicht ferner	54 deutlich näher — 65 deutlich ferner —	55 gleich 53 näher 65 gleich 67 ferner	55 deutlich näher — 65 deutlich ferner —
Umschlagsgrenzen	—	57,5 | 62	—	57,5 | 61,5	—	57,5 | 61,5 cm
Gleichheitsbreite	—	4,5	—	4,0	—	4,0 cm

II. Standnadel, Dicke Nr. 1, 3 cm links von der Medianen, schwarz, fix, — Prüfnadel, Dicke Nr. 1, 6 cm links, roth, variirt. Distanz der Standnadel 60 cm.

	A Versuch 23. Januar 1903		*B* Versuch 26. Januar 1903		*C* Versuch 30. Januar 1903		*D* Versuch 2. Febr. 1903	
	unocular	binocular	unocular	binocular	unocular	binocular	unocular	binocular
Einzelne Einstellungen	54 gleich	54 deutlich näher	54,5 gleich 66,0 gleich 68 ferner	54,5 deutlich näher 66,0 deutlich ferner —	55 gleich	55 deutlich näher	55 gleich 64,0 gleich 64.5 vielleicht etwas ferner	55 deutlich näher 64,0 deutlich ferner —
Umschlagsgrenzen	—	58 | 62,5	—	58 | 63	—	57,5 | 63	—	57.5 63,5 cm
Gleichheitsbreite	—	4,5	—	5,0	—	5,5	—	6,0 cm

sehen beseitigen die Einwände, dass bei den gewöhnlichen Beobachtungen mit Dauerreizen Blickschwankungen, speciell Zunahme des Convergenzgrades und consecutives stereoskopisches Einfachsehen der Prüfobjecte, oder aber unoculare Tiefenauslegung auf Grund des einen oder des anderen Halbbildes eine binoculare Tiefenwahrnehmung für Doppelbilder vortäusche. Die Genauigkeit dieses unzweifelhaft binocularen Localisationsvermögens erwies sich in unseren messenden Versuchen als keineswegs unbeträchtlich. Auch die schon bekannte Erscheinung, dass die Halbbilder eines Objects ohne Weiteres auf einander bezw. auf ein einziges Aussending bezogen werden, sei hier nochmals angeführt. Gewiss trägt dieser Umstand neben den bekannten anderen Momenten dazu bei, dass wir unter gewöhnlichen Verhältnissen keine Doppelbilder bemerken.

Die Genauigkeit der binocularen Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern sei hier zusammenfassend auch nach dem Winkelmaasse bezw. der geometrischen Disparation der schematischen Netzhautbilder charakterisirt. Für ungleichseitige, symmetrische Aufstellung zweier Nadeln in je 3 cm Abstand von der Medianen und in 60 cm Beobachtungsdistanz ergeben die sieben Versuchsreihen auf Tab. I und III im Mittel die Umschlagsgrenzen 56,9 und 62,8 cm, die Gleichheitsbreite von 5,9 cm. Verglichen mit der linksseitigen Standnadel von

rechtsäugig	linksäugig
4° 58′ 58″ temporal,	0° 43′ 32″ nasal

Bildexcentricität, werden folgende zwei Stellungen der rechtsseitigen Prüfnadel als eben verschieden erkannt bei einer Bildexcentricität

rechtsäugig		linksäugig	
von 0° 42′ 55″ nasal und 0° 44′ 3″ nasal	$\delta = 1' 8''$,	von 5° 18′ 7″ temporal und 4° 43′ 18″ temporal	$\delta' = 34' 49''$.

Für gleichseitige Aufstellung zweier Nadeln in 3 cm und 6 cm Abstand von der Medianen und in 60 cm Beobachtungsdistanz ergeben die elf Versuchsreihen auf Tab. II und VI im Mittel die Umschlagsgrenzen 57,4 und 62,2 cm bezw. die Gleichheitsbreite von 4,8 cm. Verglichen mit der weniger weit rechts stehenden Standnadel von

rechtsäugig	linksäugig
0° 43′ 32″ nasal,	4° 58′ 58″ temporal

Bildexcentricität, werden folgende zwei Stellungen der weiter rechts befindlichen Prüfnadel als eben verschieden erkannt bei einer Bildexcentricität

rechtsäugig | linksäugig

$$\left.\begin{array}{c}\text{von } 3^{\circ}\,42'\,34''\text{ nasal}\\ \text{und}\\ 3^{\circ}\,29'\,39''\text{ nasal}\end{array}\right\}\delta = 12'\,55'', \qquad \left.\begin{array}{c}\text{von } 8^{\circ}\,11'\,21''\text{ temporal}\\ \text{und}\\ 7^{\circ}\,29'\,49''\text{ temporal}\end{array}\right\}\delta' = 41'\,32''.$$

Es liegt uns fern, im Anschluss an unsere Untersuchung eines Einzelproblems dessen Einordnung in eine umfassende Theorie der binocularen Tiefenwahrnehmung und die Formulirung einer solchen zu versuchen, für welche *Hering*'s classische Arbeiten den Grund gelegt haben. Ein solcher Versuch wäre zudem unseres Erachtens an die heute noch unerfüllte Vorbedingung geknüpft, dass eine Reihe von systematischen, messenden Untersuchungen über nicht wenige principiell bedeutsame Einzelprobleme erfolgreich durchgearbeitet vorläge. Wir beabsichtigen, uns gerade an dieser experimentellen Aufgabe weiter zu betheiligen. Um so mehr dürfen wir uns hier mit einigen nächstliegenden Bemerkungen begnügen.

Die Thatsache, dass eine gewisse relative Tiefenwahrnehmung schon auf Grund von gekreuzten bezw. temporaldisparaten oder gleichnamigen bezw. nasaldisparaten Doppelbildern eintritt, nicht erst bei Verschmelzung der beiden Eindrücke, also bei Stereoskopie im engeren Sinne, lässt sich neben zahlreichen anderen Argumenten *zu Gunsten einer physiologischen Begründung der binocularen Tiefenwahrnehmung* überhaupt anführen. Die zahlreichen sogen. psychologischen Theorien der Tiefenwahrnehmung operiren so häufig mit der ganz unzutreffenden Voraussetzung, dass erst auf Grund der Verschmelzung zweier Empfindungen die Wahrnehmung oder Vorstellung der relativen Tiefenordnung zu Stande kommen sollte. Dass die Verknüpfung binocularer Tiefenwahrnehmung mit querdisparaten Doppelbildern auch gegen die *Nagel-Donders*sche Projectionstheorie angeführt werden kann, sei nebenbei erwähnt: das Object erscheint nicht als einfaches im Schnittpunkte der beiden Richtungslinien, sondern als Doppelbild ausserhalb derselben und doch beiläufig in der wirklichen Entfernung der Tiefe nach.

Das Vermögen der Tiefenlocalisation auf Grund von Doppelbildern spielt eine wesentliche Rolle für die räumliche Bewerthung und das gesammte Verhalten des Organismus gegenüber solchen Objecten, welche plötzlich *weit* diesseits oder jenseits des Fixations-

punktes auftauchen und daher in Doppelbildern erscheinen. Es sei hier z. B. an unser oft so rasches und geschicktes Ausweichen gegenüber plötzlich auftretenden oder etwa bei Momentbelichtung (Blitz) bemerkten Hindernissen erinnert[1]). Träte Tiefenwahrnehmung erst ein, nachdem die Augenstellung bis zum Ermöglichen stereoskopischen Einfachsehens geändert ist, so kämen die Abwehrmaassregeln gewiss oft zu spät. — Allerdings bestimmt die erweckte Tiefenempfindung auch Richtung und Grösse der Augenbewegung, durch welche der binoculare Blickpunkt auf den nunmehrigen Gegenstand der Aufmerksamkeit verlagert wird [vergl. Hering[2])].

Vielleicht noch bedeutsamer dürfte die Rolle der Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern bei denjenigen Wirbelthieren sein, welche nicht so wie die Affen, Raubsäuger und Hufthiere die Grundstellung ihrer Augen zu verändern vermögen, sondern den vermuthlich tonisch fixirten[3]) Divergenzgrad ihrer „Augenachsen" beibehalten, auch wenn ihre „Aufmerksamkeit" für nahe Objecte erweckt wird. Obwohl uns jede Vermuthung darüber fehlt, wie weit die Verschmelzbarkeit disparater Eindrücke zu einem einfachen bei den Thieren gehen könnte, darf man es doch als sehr wahrscheinlich bezeichnen, dass die Wirbelthiere bei querdisparater Abbildung naher Objecte einen binocularen Tiefeneindruck erhalten, — vielleicht vielfach bloss auf Grund von Doppelbildern[4]).

Schielende der dritten Gruppe nach Tschermak's Eintheilung[5]), bei denen eine anomale Beziehung oder Sehrichtungs-

1) Allerdings ist für sehr kurzdauernde Eindrücke auch die Verschmelzungsbreite grösser (Donders, Schoeler, Hering).

2) Die Lehre vom binocularen Sehen. 1. Lieferung. W. Engelmann, Leipzig 1868. § 7 S. 23—28 und Hermann's Handbuch Bd. 3 Theil 1 S. 534.

3) Auf diese Function der Augenmuskeln — nämlich tonische Erhaltung der „richtigen" Einstellung oder der „Grundstellung" beider Augen —, welche bei den genannten Thieren die einzige für gewöhnlich in Betracht kommende wäre, sei hier nur andeutungsweise aufmerksam gemacht. Nähere Ausführungen seien einer anderen Gelegenheit vorbehalten.

4) Vgl. A. Tschermak, Studien über das Binocularsehen der Wirbelthiere. Einleitende Mittheilung. Pflüger's Arch. Bd. 91 S. 1—20, speciell S. 13 und 19—20. 1902.

5) Autoreferat über „Anomale Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden". Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 214—216. Juli 1899. — Ueber physiologische und pathologische Anpassung des Auges. S. 31. Veit & Co., Leipzig 1900. — Ueber die absolute Localisation bei Schielenden. v. Graefe's

gemeinschaft der Netzhäute und eine zu dieser nicht passende, disharmonische Schielstellung besteht, erhalten auch bei deutlichen, sogen. paradoxen Doppelbildern keinerlei Tiefeneindruck: es fehlt ja bei ihnen auch die binoculare Localisation des Fixationspunktes als des Kernpunktes oder Beziehungspunktes für die relative Tiefenlocalisation — erst damit werden Doppelbilder eigentlich „störend". Tschermak hat jenes Verhalten in verschiedenen Versuchsweisen an sich selbst immer wieder festgestellt; bei ihm bleibt übrigens selbst bei geeigneten Anordnungen im Haploskop, trotz des Vermögens, Combinations- und Deckbilder zu erzeugen und selbst verschiedene Helligkeiten und Farben binocular zu mischen, jeder stereoskopische Effect aus (vergl. seine Selbstbeobachtung Abschnitt II. D. S. 529—530). — Analog wie bei den Schielenden der dritten Gruppe vermitteln wohl auch bei den Schielenden der ersten Gruppe (ohne Störung der Correspondenz oder normalen Beziehung der Netzhäute) die eventuell[1]) deutlichen, hier sogen. regulären Doppelbilder keine Tiefenwahrnehmung. Ueber die interessante Frage, wie sich diesbezüglich die Schielenden der zweiten Gruppe verhalten, d. h. Schielende mit anomaler Beziehung oder Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute und dazu passender, harmonischer Schielstellung, also Schielende mit der äusseren Möglichkeit eines anomalen binocularen Einfachsehens, werden erst besondere systematische Untersuchungen Aufschluss geben müssen.

Arch. f. Ophth. Bd. 55 H. 1 S. 1—45. 1902. — Ueber einige neue Methoden zur Untersuchung des Sehens Schielender. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 14 S. Nov. u. Dec. 1902. — Vgl. auch W. Schlodtmann, Studien über anomale Sehrichtungsgemeinschaft bei Schielenden. v. Graefe's Arch. f. Ophth. Bd. 51 H. 2 S. 256—294. 1900.

1) Im Falle nicht zu hochgradiger innerer Hemmung der Schielaugeneindrücke.

Einige Bemerkungen zur Abhandlung von A. Schücking: Zur Physiologie der Befruchtung, Parthenogenese und Entwicklung.

(Archiv für die gesammte Physiologie Bd. 97. 1903.)

Von

Professor **E. von Dungern.**

Bei seinen Beobachtungen über die Wirkung der Eisubstanzen von Echinodermen auf die Spermatozoen ist Schücking zu einer Auffassung gekommen, die den Resultaten meiner früheren Untersuchungen entgegensteht. Ich halte es daher für geboten, demgegenüber meinen Standpunkt in dieser Frage nochmals hervorzuheben, indem ich für alle Einzelheiten auf meine Abhandlung verweise (Zeitschr. f. allgem. Physiologie 1901 Bd. 1).

Durch meine Versuche ist mit Sicherheit bewiesen worden, dass in den mit ihren Hüllen zerriebenen oder zerschüttelten Eiern der Seesterne Substanzen enthalten sind, welche noch in sehr geringer Concentration die Spermatozoen der Seeigel abtödten. Eine Verunreinigung mit Hautschleim kommt dabei überhaupt nicht in Frage, da im Hautschleim sehr viel weniger Gift enthalten ist als in den Eiern. Die Abtödtung der Seeigelspermatozoen vollzieht sich bei genügendem Zusatz von Seesterneisubstanz sehr rasch und geht mit deutlich sichtbarer Formveränderung des Kopfes einher. Eine Befruchtung von Asteriaseiern durch Arbaciaspermatozoen, wie sie Schücking durch leichtes Einreiben der Spermatozoen in die Eier erzielt haben will (S. 78), halte ich daher für ausserordentlich unwahrscheinlich. Die Giftwirkung dieser Eier auf die Seeigelspermatozoen ist immer eine so hochgradige, dass ein unmittelbarer Contact mit dem Ei den sofortigen Tod des Spermatozoons zur Folge haben muss. Die Beobachtung Schücking's wird man demnach auf andere Weise erklären müssen, wohl durch Verunreinigung mit vereinzelten Asteriasspermatozoen, wie sie ja selbst bei Beobachtung aller Vorsichtsmaassregeln einmal vorkommen kann.

Seesternspermatozoen werden dagegen durch Seesterneisubstanz

durchaus nicht, wie Schücking meint, in gleicher Weise beeinflusst. Schwächere Concentrationen, die Seeigelspermatozoen noch abtödten, sind vollkommen wirkungslos. Zusatz grösserer Mengen macht die gleichartigen Spermatozoen bewegungslos. Es erhebt sich hier die Frage, ob die Seesternspermatozoen durch die gleiche giftige Substanz ihre Beweglichkeit verlieren, welche die Seeigelspermatozoen noch in viel schwächerer Concentration vernichtet. Meine Untersuchungen geben darüber sichere Auskunft. Das auf die Seeigelspermatozoen wirkende Eigift ist das gleiche Gift, welches sich auch im Hautschleim von Asterias vorfindet; dafür spricht das vollkommen gleiche Verhalten beider Substanzen gegenüber Seeigelspermatozoen, die darin aufquellen, gegenüber Kaninchenerythrocyten, die gelöst werden, gegenüber Kaninchenserum, dass antitoxisch wirkt, gegenüber Alkohol und Aether. Der Hautschleim bedingt aber nicht Bewegungslosigkeit der Seesternspermatozoen, wie die Seesterneisubstanz. Es handelt sich demnach auch in den Eiern um ein vollkommen specifisches Gift, das nur die fremdartigen, nicht aber die gleichartigen Spermatozoen abtödtet. Die Wirkung der Seesterneisubstanzen auf die Spermatozoen derselben Art muss also auf andere Weise erklärt werden. Man könnte an eine Abtödtung durch nicht-specifische Substanzen denken, die entweder in der Gallerthülle der Seesterneier vorgebildet sind oder als Kunstproducte beim Zerreiben der Eier entstehen. Eine Abtödtung liegt hier aber, wie mir eine genauere Untersuchung zeigte, gar nicht vor; die durch Asteriaseisubstanz unbeweglich gewordenen Asteriasspermatozoen werden durch Zusatz von Kaninchenserum, das in hohem Grade reizend wirkt, wieder beweglich, im Gegensatz zu den Seeigelspermatozoen, deren Organisation zerstört ist. Die Wirkung der gleichartigen Eisubstanz ist demnach nicht Abtödtung, sondern Erregungshemmung.

Das Gleiche ist auch vom Verhalten der Seeigelspermatozoen in Bezug auf zerschüttelte gleichartige Eier zu sagen. Auch hier kommt bei Zusatz grösserer Mengen von Eisubstanz eine Lähmung der Spermatozoen zu Stande, die durch nachträgliches Verdünnen mit Seewasser wieder aufzuheben ist, während schwächere Concentrationen unwirksam sind.

Für fremdartige Spermatozoen specifisch giftige Substanzen nach Art des Seesterngiftes finden sich in den Seeigeleiern dagegen nicht. Die zerriebenen oder zerschüttelten Eier dieser Echinodermen tödten Seesternspermatozoen durchaus nicht ab; sie haben dagegen die

Eigenschaft, in stärkerer Concentration zugesetzt die Bewegung unbeweglicher Seesternspermatozoen durch Reizwirkung anzuregen.

Es besteht demnach ein principieller Gegensatz zwischen den Eisubstanzen der Seeigel und denjenigen der Seesterne in Bezug auf die Beeinflussung fremder Spermatozoen. Genau die gleichen verschiedenartigen Wirkungen werden auch durch die lebenden Eier ausgeübt: Seeigelspermatozoen werden durch Asteriaseier abgetödtet; Seesternspermatozoen zeigen im Gegentheil bei der Berührung mit Seeigeleiern eine stärkere Beweglichkeit. Von den agglutinirenden Substanzen der Seeigeleier, welche die Beweglichkeit herabsetzen müssen, sehe ich dabei ab; sie kommen nicht bei allen Arten vor und sind ausserdem leicht von den Agglutininen der Seesterne zu unterscheiden. Es ergibt sich ferner ein fundamentaler Unterschied im Verhalten derselben Spermatozoen in gleichartiger und in fremder Eisubstanz. Die Seeigelspermatozoen werden durch Seeigeleisubstanz unbeweglich, durch Seesterneisubstanz zerstört; die Seesternspermatozoen werden durch Seesterneisubstanz unbeweglich, durch Seeigeleisubstanz dagegen gereizt. Meine Versuche wurden, wie aus meiner Arbeit hervorgeht, mit genauer Berücksichtigung der quantitativen Verhältnisse ausgeführt und in grosser Zahl vorgenommen. Ein Irrthum scheint mir ausgeschlossen zu sein. Wenn Schücking daher alle Fälle zusammenwirft und eine gleichartige Wirkung der verschiedenen Eier auf gleichartige und fremde Spermatozoen annehmen will, so entspricht diese Anschauung keineswegs den Thatsachen.

Ich habe die Erregungshemmung durch gleichartige Eisubstanz dadurch zu erklären gesucht, dass die Spermatozoen dabei in gleichartige protoplasmatische Substanzen gerathen und dadurch den Reizen der normalen Aussenwelt entzogen werden. Schücking will diese Lähmung, wie es scheint, auf nicht specifische Säurewirkung der Eihülle zurückführen, wenn er S. 62 sagt: „Die Lähmung der Spermien, wie sie bei längerem Verweilen derselben an der Eiperipherie eintritt, wird, ganz abgesehen von specifischen Einflüssen, schon durch die Säurewirkung der Schleimhüllen auf die sehr säureempfindlichen Spermien erklärt werden können." Es widerspricht dem aber schon seine Angabe auf Seite 59, wo es heisst: „Durch Dialysirung dieser Flüssigkeit (aus zerriebenen Eiern gewonnen) erhielt ich eine nach dem Einkochen auf dem Wasserbade stark sauer reagirende Substanz in klarer Lösung, welche deutlich erregend, aber nicht agglutinirend auf die Spermien einwirkte. Der Rückstand bei

der Dialyse war schwach sauer, fast neutral. Dieser Rückstand hatte alle oben erwähnten Eigenschaften der Eisubstanz gegenüber den Spermien, je nach der Concentration stark erregend, agglutinirend und lähmend."

Die von Schücking verwandte Methode, die Eier zu zerreiben, 12 Stunden mit destillirtem Wasser zu behandeln und die Flüssigkeit dann noch einzukochen, ist aber überhaupt nicht geeignet, die Verhältnisse in den lebenden Eiern aufzuklären. Bei einer so eingreifenden Behandlung gehen manche specifischen Substanzen zu Grunde, während andererseits nicht-specifische wirksame Körper als Kunstproducte entstehen können. Einfaches Zerschütteln der Eier in wenig Seewasser, wie es bei meinen Versuchen vorgenommen wurde, ist dagegen eine viel schonendere Gewinnung der in Betracht kommenden chemischen Körper.

Wenn Schücking ferner S. 67 schreibt: „Die bisherige Annahme, dass sich der Kopf, getrieben von den Bewegungen des Schwanzfadens, in das Ei einbohre, steht daher mit den thatsächlichen Verhältnissen in Widerspruch," so geht er meines Erachtens zu weit. Von anderen Beobachtern ist ein actives Eindringen des Spermatozoons gesehen worden. Die Aufrechtstellung der Spermatozoen an den gleichartigen Eiern ist ausserdem eine so charakteristische Erscheinung, dass man sie unmöglich leugnen kann. Die Beobachtung von Schücking, dass auch das Eiplasma die Vereinigung beider Geschlechtszellen vermitteln kann, ist damit sehr wohl zu vereinigen und steht auch mit meiner Anschauung über diesen Vorgang in gutem Einklange. Die Vorwölbung des Plasmas, welche das Spermatozoon umgreift, ist unschwer durch den reizhemmenden Einfluss des gleichartigen Spermatozoons zu erklären. Ich selbst habe eine solche Einwirkung des Spermatozoons auf das Eiplasma nicht beobachtet, aber auf Grund meiner anderen Untersuchungen als wahrscheinlich angenommen. (Anmerkung 2 auf Seite 16.)

Erklärung der Tafel I zum Artikel „Morphologische und physiologisch-chemische Untersuchungen über die Pigmente der Lepidopteren“.

Von

Dr. M. Gräfin von Linden (Bonn).

(Archiv Bd. 98 S. 1.)

Fig. 1. Darmepithel einer fressenden Raupe von Vanessa urticae. Gelber Farbstoff im Epithel und in den Zellen der noch im Darm befindlichen Blattüberreste *b*. Zeiss, Obj. AA. Oc. 1.

Fig. 2. Darmepithel einer ausgewachsenen Raupe von Vanessa urticae. Rother Farbstoff in der Umgebung der Kerne. Zeiss, Obj. DD. Oc. 1.

Fig. 3. Abgestossene Darmepithelzelle aus dem Darm der Puppe von Vanessa io. Der centrale Theil der Zelle ist in rothen Farbstoff verwandelt. Zeiss, Obj. F. Oc. 3.

Fig. 4. Phagocyte Zelle, mit abgestossenen Darmepithelzellen beladen aus dem Puppendarm von Vanessa io. Zeiss, Obj. DD. Oc. 3.

Fig. 5. Pflanzenzellen aus dem Darm einer hungernden Raupe von Vanessa io. Der Darm war zwei Jahre lang in Glyceringelatine eingebettet. Die Chlorophyllkörper sind grösstentheils in rothe Krystalldrusen verwandelt. Bei *a* sehen wir, wie ein gelbrother, anscheinend klinorhombischer Krystall noch von der Plasmahaut des Chlorophyllkorns umschlossen ist. Zeiss, Hom. Imm. 1/16 Comp. Oc. 4. (Zenneck del.)

Fig. 6. Einzelne Chlorophyllkörper eines anderen Blattrestes, stärker vergrössert gezeichnet. Die Umwandlung in rothen Farbstoff beginnt.

Fig. 7. Klinorhombische Krystalle des rothen Farbstoffs aus dem Darm der Puppe von Vanessa urticae. Zeiss, Hom. Imm. 1/16 Comp. Oc. 4.



heit verwerthen zu können. Da ich aber die Hoffnung aufgeben muss, selbst noch Controlversuche machen zu können, so will ich diejenigen Vorversuche, die in den Jahren 1900—1901 an der Zirbeldrüse angestellt wurden, so unvollständig sie auch sind, der Oeffentlichkeit übergeben. So werden sie wenigstens als Anhaltspunkte für andere Forscher dienen können, die es unternehmen würden, die so räthselhaften Verrichtungen der Zirbeldrüse weiter zu erforschen.

2. Versuche mit Extracten aus der Zirbeldrüse.

Meine Versuche an der Zirbeldrüse waren zweifacher Art. Die eine Reihe war darauf gerichtet, Extracte aus dieser Drüse zu erhalten, um deren eventuelle Wirkungen auf das Herz und Gefässnervensystem in der üblichen Weise zu studiren. Die benutzten Drüsen stammten von Ochsen und Hammeln her[1]).

Wie in der citirten Arbeit kurz angedeutet, war das übereinstimmende Ergebniss dieser Versuchsreihe folgendes:

Intravenöse Einspritzungen von Zirbeldrüsen-Extracten erzeugen keinerlei Wirkungen auf den Blutdruck. Die Zahl der Herzschläge wird durch dieselben beschleunigt, deren Excursionen aber verkleinert. Soweit entsprechen also die erhaltenen Modificationen der Blutdruckcurve ganz denjenigen, die man bei Reizungen der wirklichen nn. Accelerantes enthält.

Dies ist aber nur bei Einspritzungen geringer Mengen der Fall. Werden allmählich grössere Dosen eingeführt, so ändert sich das Bild. Die Herzschläge werden bedeutend verstärkt und verlangsamt, gleichzeitig aber auch unregelmässig. Man beobachtet dabei häufig das Erscheinen von Bigeminus- und Trigeminuspulsen von der Art, wie sie Traube zuerst beschrieben hatte.

Wie dies in meinen Untersuchungen über die Schilddrüse[2]) und über die physiologischen Herzgifte[3]) durch viele Experimente in ganz evidenter Weise dargethan wurde, rühren derartige Pulsformen von einer Störung des harmonischen Zusammenwirkens der hemmenden

1) Um über eine grössere Anzahl solcher Drüsen verfügen zu können, übte ich, vor einigen Jahren, in den Pariser Schlachthäusern von La Villette, einen Angestellten des Apothekers Vicario darauf ein, die Zirbeldrüse herauszupräpariren, ohne das Gehirn zu schädigen.

2) Siehe Beiträge zur Physiologie der Schilddrüse u. s. w. Cap. 9. Bonn 1898.

3) Dieses Archiv Bd. 73, 74 u. 77.

und beschleunigenden Herznerven her. Es genügt beim Auftreten von Bigeminus- oder Trigeminuspulsen, die einen oder die anderen dieser Nerven künstlich zu erregen oder zu durchschneiden, um sofort diese Unregelmässigkeiten der Pulsschläge aufzuheben[1]).

Mehrmals gelang das gleiche, wenn eine solche Erregung auf reflectorischem Wege erzeugt wurde, wie z. B. bei Reizung des Depressors, wie man dies an der Curve 10 (S. 178) und noch ausgeprägter an der Curve 10 des ersten Theils der „Physiologischen Herzgifte" (dieses Arch. Bd. 73 S. 56) sehen kann.

Unzählige Mal gelang es auch, einen Pulsus bigeminus oder trigeminus künstlich zu erzeugen, und zwar durch gleichzeitige Erregung des beschleunigenden und verlangsamenden Herznerven, entweder durch elektrische Reizung (siehe z. B. die Curve 23 S. 199 der Beiträge u. s. w.), oder durch die parallele Einführung in die Blutcirculation von zwei antogonistisch wirkenden Herzgiften, von denen also das eine die Accelerantes, das andere die Vagi erregt, wie z. B. von Hypophysin und Atropin (Curven 7—9 des zweiten Theils der „Physiologischen Herzgifte", dieses Arch. Bd. 73), von Jodnatrium und Muscarin (Curven 25 und 26 derselben Untersuchung), oder endlich von Nebennierenextract und Muscarin (Curven 10-12 des dritten Theils der „Physiologischen Herzgifte", Bd. 74 S. 135).

Um zur Zirbeldrüse zurückzukehren, erregen Extracte aus derselben, wenn in kleineren Dosen eingeführt, nur die Accelerantes, in grösseren Mengen dagegen erregen sie gleichzeitig auch die verlangsamenden Herznervenfasern, und dies in so unregelmässiger Weise, dass das harmonische Zusammenwirken der beiden antagonistischen Herznerven gestört wird: der Herzschlag wird unregelmässig, grosse und seltene Actionspulse alterniren mit kleinen Acceleranspulsen, und zwar in völlig arhythmischer Reihenfolge. Man erhält also eine ganz eigenthümliche Form von Pulsus trigeminus.

Dass es sich auch in diesen Versuchen um eine derartige Disharmonie handelt, davon überzeugt man sich leicht, indem man während dieser Periode nacheinander die beiden Vagi durchschneidet.

---

1) Als Beispiel kann die Curve 11, S. 179 der „Beiträge zur Physiologie der Schilddrüse u. s. w." dienen, wo die plötzliche Unterbindung des acceleratorisch wirkenden Halssympathicus sofort den Bigeminuspuls sistirte. Das nämliche Resultat wurde in einem anderen Fall durch Durchschneidung des Vagus erzielt, wie die Curve 28 auf S. 210 derselben Arbeit zeigt.

Die Durchschneidung des einen Vagus bleibt ohne merklichen Einfluss auf diese eigenthümlichen Pulse; die Vaguspulse werden seltener, und die Periode der beschleunigten Pulse hält etwas länger an. Dagegen verschwinden sie sofort nach der Durchschneidung des zweiten Vagus.

Hier sollen die Curven eines derartigen Versuchs angeführt werden, welche diese Verhältnisse genau demonstriren. Der Versuch wurde am 28. April 1900 an einem grösseren, mit Morphium narkotisirtem Kaninchen ausgeführt. Verwendet wurde eine Lösung von 3 g getrockneter Zirbeldrüsensubstanz in 60 ccm der physiologischen Kochsalzlösung. Diese 3 g wurden aus etwa 100 Zirbeln von Ochsen und Hammeln gewonnen[1]).

Die Fig. 1 auf Tafel V zeigt den Einfluss einer intravenösen Einspritzung von 2 ccm der betreffenden Lösung. Der Blutdruck sank sobald nach der Einspritzung um ein Geringes[2]), — die Zahl der Herzschläge wuchs von 23 auf 28 in 10 Secunden.

Zwei erneuerte Einspritzungen von je 2 ccm vermochten die Zahl der Herzschläge bis auf 37 in 10″ zu erhöhen. Darauf wurden auf Einmal 13 ccm derselben Lösung in die Vene eingespritzt; mit welchem Erfolge zeigt die Fig. 2 auf derselben Tafel.

Die Herzschläge wurden sofort beträchtlich verstärkt und verlangsamt, wobei die grossen Pulse in unregelmässiger Weise durch eine gewisse Anzahl kleiner unterbrochen wurden: ein Pulsus trigeminus tritt auf. Diesen Charakter behielten die Herzschläge während mehr als 20 Minuten.

1) Beim langsamen Erwärmen dieses Extracts bis auf 100° C. beobachtete ich in der Lösung eine Reihe auf einander folgender Explosionen, bei welchen kleine Mengen des Pulvers in die Luft geschleudert wurden; über die Natur dieser eigenthümlichen, relativ lauten Explosionen, vermochte ich keine Aufklärung zu finden.

2) Dieses geringe Sinken des Blutdrucks hat genau denselben Charakter, wie die, während der Einführung der verschiedensten Extracte, beobachtete. Es hält gewöhnlich nur kurze Zeit an (5—10 Secunden) und spricht keineswegs zu Gunsten einer functionellen Bedeutung des betreffenden Extractes. Man beobachtet, wenn auch selten, dasselbe Sinken sogar bei Einführung von Extracten aus der Nebennierensubstanz, die sonst so stark den Blutdruck zu steigern pflegen. Die kurze Zeit anhaltenden Senkungen, welche Osborne und Swale Vincent bei der Einspritzung von Extracten aus der grauen Hirnsubstanz, und A. Schäfer bei gewissen Hypophysenextracten beobachteten, tragen denselben Charakter. (Siehe „Die physiologischen Verrichtungen der Hypophyse“. Dieses Archiv Bd. 81 S. 299.)

Die Durchschneidung des einen Vagus hatte nur wenig den Gang der Blutcurve verändert, wie dies die Fig. 3 zeigt. Dagegen rief die Durchschneidung des zweiten Vagus eine sofortige Rückkehr der Blutdruckcurve zur früheren Form, was Anzahl, Stärke und Regelmässigkeit der Pulse anbetrifft, zurück (Fig. 4).

Die durch die stattgefundene Einführung einer grösseren Menge des Extractes der Zirbeldrüse erzeugten Veränderungen der Blutdruckcurve, d. h. die Verlangsamung und Verstärkung der Herzschläge, sowie das Auftreten der Unregelmässigkeiten (Pulsus trigeminus) hingen also von der Erregung der centralen Vagusenden ab, welche sich zu der Erregung der Accelerantes gesellt hatte.

Wie die angeführten Blutdruckcurven zeigen, übte auch die Einführung grosser Mengen des Extracts keine merkliche Wirkung auf die Höhe des Blutdrucks aus, wenigstens rührten die geringen Schwankungen derselben, in dem einen oder dem anderen Sinne, ausschliesslich von den Veränderungen der Stärke der Herzschläge her. Im Beginn waren letztere verkleinert wegen der alleinigen Erregung der Accelerantes; sodann wurden sie verstärkt durch die gleichzeitige Erregung der verlangsamenden Herznerven.

Es fragt sich nun, wie die beobachteten Wirkungen zu deuten seien? Haben wir es hier mit physiologischen Wirkungen von Drüsenextracten zu thun, wie z. B. bei den Extracten aus den Schilddrüsen, der Hypophyse u. s. w., oder sind dieselben einfach auf die Einführung der anorganischen Salze, die in der Zirbeldrüse, meistens in Form von Concrementen, in grösseren Mengen angetroffen werden, zurückzuführen?

Ich musste diese Frage aus mehreren Gründen aufwerfen.

3. Vergleichende Versuche mit glycero-phosphorsaurem Natron und glycero-phosphorsaurem Kalk.

Eine grössere Reihe von Versuchen, welche ich im Laufe meiner Untersuchungen über die Verrichtungen der Hypophyse, mit den Wirkungen von glycero-phosphorsaurem Kalk und glycero-phosphorsaurem Natron[1]) auf den Blutdruck und die Herzthätigkeit angestellt hatte, lieferten Ergebnisse, die mit denen von den Zirbeldrüsenextracten erhaltenen grosse Analogien besassen.

1) Bezogen von E. Merck in Darmstadt.

Glycero-phosphorsaures Natron in $1^1/_2$ %igen Lösung, eingeführt in die Venen bei Hunden oder Kaninchen, vermag die Herzschläge bedeutend zu beschleunigen.

Nach mehrmaligen Einspritzungen überzeugt man sich, dass die erzielten Beschleunigungen allmählich zunehmen, bis zur Verdoppelung der normalen Schlagzahl.

Der Blutdruck wird dabei entweder gar nicht verändert oder um ein Geringes erniedrigt, wie man dies beim längeren Anhalten von Acceleranspulsen immer beobachtet. Die Beschleunigung der Herzschläge hängt zum bedeutendsten Theile nämlich, von einer Erregung der nn. Accelerantes, resp. ihrer gangliösen Endigungen im Herzen selbst, ab. Dies wird unter Anderem dadurch bewiesen, dass die Erregbarkeit der Vagi unter dem Einfluss der mehrmaligen Einspritzungen kaum abzunehmen pflegt.

Um eine Vorstellung von der grossen Analogie, zwischen den Wirkungen des glycero-phosphorsauren Natrons und denen schwacher Dosen der Zirbelextracte zu geben, sollen hier einige Curven angeführt werden, die von einem am 5. Januar 1900 angestellten Versuch herrühren. Ein grosses Kaninchen wurde mit Morphium narkotisirt. Zur Einspritzung gelangte eine $1^1/_2$ %ige Lösung von glycero-phosphorsaurem Natron in successiven Dosen von 2 ccm.

Fig. 5 zeigt Taf. V den Erfolg der ersten Einspritzung. Sofort nach der Einspritzung kommt eine kleine Senkung des Blutdrucks mit geringer Verlangsamung, von 22 auf 18 Pulsschläge in 10″; darauf folgt sogleich eine Beschleunigung derselben bis zu 26 in 10″. Eine zweite Einspritzung von 2 ccm führte die Zahl der Herzschläge auf 30 in 10″ (Fig. 6), bei der dritten steigerte sich dieselbe auf 34 in 10″, bei der vierten, also nach 8 ccm der erwähnten Lösung, erreichten die Herzschläge die Zahl von 38 in 10″. Die Fig. 7 zeigt den Charakter dieser Herzschläge und demonstirt gleichzeitig die erhaltene Erregbarkeit des Vagus.

Das glycero-phosphorsaure Kalk beeinflusst die Herzschläge in entgegengesetzter Weise: dieselben werden bedeutend verlangsamt und stark vergrössert. Sie erhalten ganz den Charakter der von mir sogenannten Actionspulse. Nur sind die Herzschläge nie so regelmässig, wie die Actionspulse[1]) sonst zu sein pflegen, z. B. bei

1) Ueber die Natur der Actionspulse, siehe u. A. meinen Aufsatz „L'innervation du Cœur" in Dictionnaire von Ch. Richet, und die Beiträge z. Physiol. d. Schilddrüse etc. Cap. 9.

Einspritzungen von Hypophysin. Die grossen Pulse werden häufig von ein paar kleinen unterbrochen, auch unterliegen ihre Intensitäten grossen Schwankungen. Diese Unregelmässigkeiten nehmen mit der Zunahme der eingeführten Mengen der 5 %igen Lösung des glycerophosphorsauren Kalks bedeutend zu. Pulsus bigeminus und trigeminus treten auf; die Grössen der Herzschläge variiren constant und zeigen eine Neigung zur allmählichen Abnahme.

Die Wirkungen der Natron- und Kalksalze auf das Herz wurden schon früher von mehreren Physiologen, meistens mit gleichlautenden Ergebnissen, studirt. Namentlich stimmen sämmtliche Forscher darin überein, dass die Kalksalze die Herzschläge zu verstärken vermögen.

Besonders belehrend sind diejenigen Versuche über derartige Wirkungen, welche bei den Prüfungen der Ringer'schen Flüssigkeiten von verschiedener Zusammensetzung, nicht auf das gesammte Herz, sondern an ausgeschnittenen Herzstreifen u. A. von Howell, Loeb, Porter und ihren Schülern angestellt worden sind, und zwar mit Hülfe der Gaskell'schen Suspensionsmethode.

Loeb gelangte zu dem Schlusse, dass „die Erregbarkeit der Nerven und Muskeln und die rhythmische Thätigkeit verschiedener Organe u. A. eine Function des Quotienten $\frac{CNa}{CCa}$, d. h. der Concentration der Natriumionen dividirt durch die Concentration der Calciumionen der umgebenden Lösung, resp. des betreffenden Gewebes ist". (Dieses Archiv B. 96 S. 539.)

Um diese Formel in ihrer Bedeutung auf das Herz richtig zu würdigen, muss man im Auge behalten, dass es sich bei den Versuchen Loeb's nicht um die Wirkungen der betreffenden Salze auf die Zusammenziehung des Gesammtherzens, sondern nur um die Contraction eines Herzstreifens, der nur ein Nervenmuskelpräparat des Herzens darstellt[1]), handelte.

---

1) Engelmann, der nicht mit Unrecht auf den Versuch verzichtet hat, meine Wiederlegung der myogenen Hypothese zu entkräften, suchte wenigstens die von ihm benutzte Versuchsmethode gegen meine Angriffe zu schützen. Diese Angriffe sollen durch das Missverständniss begründet sein, dass für mich „das Herz wesentlich als Motor des Blutes Interesse hat", während es Engelmann „zunächst auf ein Verständniss des Herzens als Nervmuskelapparat ankam, ohne specielle Rücksicht auf seine Bedeutung für den Blutstrom. Mit demselben Rechte wie das Nerven-Muskelpräparat seit Galvani zur Erforschung

Die Abnahme der Erregbarkeit eines solchen Nervenmuskelpräparates unter dem Einflusse der Calcionen will noch keineswegs

der Lebensvorgänge in den willkürlichen Muskeln und Nerven gedient, darf das Froschherz als physiologisches Object für das Studium der physiologischen Eigenschaften der Herzmuskeln und -Nerven und ihrer gegenseitigen Beziehungen bezeichnet und benutzt werden . . ." (Engelmann's Archiv f. Physiologie Heft 5 und 6, S. 445. 1902.)

Ich will nur beiläufig Engelmann daran erinnern, dass meine erste und auch ausführlichste Herzarbeit eben am Froschherzen angestellt wurde, — und zwar am ausgeschnittenen Froschherzen, das ich zuerst durch die Herstellung einer künstlichen Serumcirculation Tage lang functionsfähig erhalten habe. Ein grosser Theil dieser Untersuchung war eben dazu bestimmt, die Eigenschaften der Nerven, Ganglien und Muskelfasern des Herzens mit Hülfe von Temperaturänderungen, elektrischer Reizungen und Gifte zu studiren.

Eine genaue Deutung der gesonderten Eigenschaften dieser Herztheile hat natürlich grosse Schwierigkeiten geboten; trotzdem gelang es mir schon damals, die meisten der wichtigen Thatsachen festzustellen, wie die Constanz der Herzarbeit, die Bedeutung der Ruhepausen zwischen den Herzschlägen für die Intensität des folgenden Herzschlages u. s. w., wie ich das im Abschnitt 6 der Arbeit „Myogen und Neurogen" hervorgehoben habe. Die nach mir von Luciani, Bowditch, Merunowitsch, Kronecker u. A. auch am Froschherzen angestellten Versuche bezweckten durch Ausschaltung einzelner Herzabschnitte am ernährten Herzen das Studium der gesonderten Eigenschaften zu erleichtern. Es ist aber erst den amerikanischen Physiologen Howell, Loeb, W. Porter und Locke gelungen, wirkliche Nerven-Muskelpräparate des Herzens der methodischen, messenden Prüfung zu unterziehen, indem, wie oben gesagt, sie dabei mit Recht die Suspensionsmethode verwendeten. Das Interesse am Herzen als Nerven-Muskelapparat fehlte also weder mir, noch den anderen der eben citirten Forscher. Derjenige Physiologe, der die Engelmann'sche Methode, die ich als unbrauchbar nachgewiesen habe, missverstanden hatte, ist kein anderer als Engelmann selbst. In den betreffenden Versuchen, die ich einer Kritik unterzogen habe, liess nämlich Engelmann das vollkommen intacte Froschherz in situ arbeiten, wobei es seine sämmtlichen physiologischen und anatomischen Verbindungen, namentlich mit dem gesammten Gefässsystem, mit dem centralen und peripherischen Nervensystem u. s. w. behielt; er beeinflusste das unter diesen Umständen intact erhaltene Gesammtherz durch die mannigfachsten Reizungen der verschiedenen Körpertheile, und wähnte dabei ein Nerven-Muskelpräparat vor sich zu haben! In der Wirklichkeit arbeitete Engelmann am Gesammtfrosch.

Das Abklemmen einiger Muskelbündel vermochte natürlich die Sache nicht besser zu machen, da ja häufig dabei, wie er dies selbst zugiebt, nicht einmal die Zusammenziehung dieser Bündel verzeichnet wurde.

Bei der Reichhaltigkeit der Nervennetze, die die Muskelzellen umwinden, wovon die letzte Untersuchung von Hofmann (Arch. f. Anatomie v. His. 1902) noch

bedeuten, dass die gesammten Herzcontractionen unter demselben Einflusse nicht bedeutend ausgiebiger werden können.

Auch die Abkühlung verändert in gewissen Grenzen die Erregbarkeit des Herzens, vergrössert aber gleichzeitig seine Excursionen. Die Abnahme der Erregung beruht in solchen Fällen meistens auf einer Zunahme der hemmenden Einwirkungen. Wenn die Calcionen die Hemmungsnerven in Erregung versetzen, so wird die Zahl der Herzschläge dabei zwar vermindert, deren Intensität aber vermehrt werden. Der Effect wird der nämliche sein, wenn sie direct die Erregbarkeit der acceleratorischen Nervenfasern vermindern. Caeteris paribus steht ja die Intensität der Herzschläge, und auch die Nutzarbeit derselben, im umgekehrten Verhältniss zu deren Zahl. Schon daraus allein folgt, dass man keineswegs aus Beobachtungen an einem blossen Herzstreifen (Nervenmuskelpräparat) berechtigt sei, ohne Weiteres Schlüsse auf die Contractionen des Gesammtherzens zu übertragen.

Die Einflüsse, welche die Zusammenziehungen des Herzens bedingen, sind überhaupt so verwickelter Natur, dass man noch weit davon entfernt ist, sie durch einfache Formeln ausdrücken zu können.

Um zu unseren Beobachtungen an den Extracten der Zirbeldrüse auf diese Zusammenziehungen zurückzukehren, so folgt aus deren Vergleichung mit den Ergebnissen der Versuche an phosphorsaurem Natron und phosphorsaurem Kalk Folgendes: Schwache Dosen dieser Extracte scheinen wie phosphorsaures Natron, — starke Dosen dagegen, wie glycero-phosphorsaurer Kalk auf den Herzschlag zu wirken. Nur die eine Differenz habe ich zwischen diesen Wirkungen beobachtet: Die Wirkungen der Zirbelextracte verschwinden ganz bei der Durchschneidung der Vagi; diejenigen des phosphorsauren Kalks dagegen werden durch solche Durchschneidungen etwas modificirt, aber ihre Wirkungen auf die Herzschläge bewahren denselben Charakter, wie bei intacten Vagi.

Beim Kaninchen, das zum obigen Versuch am 28. April 1900 benutzt wurde, spritzte ich ein paar Minuten nach der Durchschneidung der zweiten Vagus, als die Blutdruckcurve den normalen Verlauf

---

so schöne Beweise geliefert hatte, muss übrigens die Annahme, dass die Nervenfasern des Herzens die nämlichen Eigenschaften der Erregbarkeit, der Leitungs- und der Anspruchsfähigkeit, wie die Muskelfasern besitzen, im Voraus alle derartige Untersuchungen Engelmann's fruchtlos machen, gleichgültig, welchen Werth seine Untersuchungsmethode auch sonst haben mag.

angenommen hatte, 10 ccm einer 5 %igen Lösung von phosphorsaurem Kalk ein. Wie die Fig. 8 zeigt, ist die gewöhnliche Wirkung sofort eingetreten: die Herzschläge wurden bedeutend verstärkt und nahmen, qualitativ wenigstens, ganz den Charakter der früheren, unter dem Einflusse grosser Dosen des Zirbelextractes erzeugten, an.

Wenn es sich bei diesem Extracte um eine ad hoc von der Zirbeldrüse gebildeten wirksamen Substanz gehandelt hätte, so dürfte man nach den Analogien mit den wirksamen Substanzen der Schilddrüse, der Hypophyse und der Nebenniere erwarten, dass die Durchschneidung der Vagi die Blutdruckcurve, qualitativ wenigstens, nicht beeinflussen würde.

Wie sämmtliche Versuche, die in den vier Theilen der physiologischen Herzgifte ausführlich beschrieben wurden, übereinstimmend beweisen, wirken die Producte der genannten Drüsen ganz in analoger Weise auf die centralen wie auf die peripheren Herz- und Gefässnerven und Ganglien.

Die Durchschneidungen der Vagi pflegen diese Wirkungen nicht aufzuheben; wie ja auch diese Wirkungen mit derselben Schärfe hervorzutreten pflegen, wenn diese Gifte auf das ausgeschnittene Herz, resp. auf das aus der Gesammtcirculation ausgeschlossene Herz (nach den im vierten Theil der „Physiologischen Herzgifte“ beschriebenen Methoden), einwirken. Dies in genauer Uebereinstimmung mit meinem zweiten Gesetze der Ganglienerregung.

Es liegt kein Grund vor anzunehmen, dass die Zirbelextracte eine Ausnahme von den anderen Extracten der Schutzdrüsen der Herz- und Gefässnerven machen. Man könnte eher daran denken, das Conarium sei als Drüse nur dazu bestimmt, gewisse Salze in organischer Bindung in der Zirbel anzuhäufen. Die erhaltenen Wirkungen bei Versuchen mit Lösungen aus der Substanz der Zirbel wären einfach auf Rechnung dieser Salze zu setzen, welche in relativ grossen Mengen, sowohl als Concremente in den Höhlen derselben, als auch zerstreut in dem Gewebe selbst, angetroffen werden. Phosphorsaurer Kalk bildet die Hauptmasse dieser Salze; es kommen aber auch noch andere vor. Die beobachteten Wirkungen könnten um so eher von diesem Gemische herrühren, als, wie der oben citirte Versuch zeigte, diese Wirkungen

bei Verwendung kleiner Mengen ganz entgegengesetzte als bei Einführung grosser Dosen waren.

4. Directe Versuche an der Zirbeldrüse.

Da das Studium der Extracte aus der Zirbel keine definitiven Schlüsse über ihre Bedeutung als secernirende Drüse gestattete, suchte ich auf anderem Wege Aufklärung über die physiologische Bestimmung dieses räthselhaften Organs.

Der sicherste Weg schien mir derjenige zu sein, der schon beim Studium der Verrichtungen der Schilddrüsen und der Hypophyse es erlaubte, zu positiven Ergebnissen zu gelangen, nämlich der Weg des directen Experimentirens an der Drüse selbst.

Die technischen Schwierigkeiten beim Operiren an der Zirbeldrüse müssen selbstverständlich ziemlich gross sein; sie scheinen im Voraus aber nicht unüberwindlich zu sein. Von der Schädelhöhle aus war es viel schwieriger zur Hypophyse zu gelangen, als zur Zirbel, da dabei ein Theil des Grosshirnlappens abgetragen werden musste. Operationen an der Glandula pinealis erheischen aber keinerlei Verletzungen des Gehirns.

Die Operationsmethode war kurz folgende:

Das Schädeldach wurde beim mit Morphium narkotisirten Kaninchen unter den gewöhnlichen Cautelen abgetragen, und dann zur Stillung der Blutung aus den Sinus geschritten.

Ausser den gewöhnlichen, in meiner Methodik beschriebenen Kunstgriffen, verwendete ich dabei mit Nutzen den bei den französischen Physiologen üblichen Modellirwachs, mit welchem man die Blutung aus den Knochen leicht zu hemmen vermag.

Nach einer Pause von 15—20 Minuten, die man dem Thiere zur Erholung gönnt, wird ihm eine neue Morphiumeinspritzung gemacht. Darauf wird die Dura mater an der Grenze zwischen den beiden Hinterlappen des Grosshirns gespalten, und zwar durch zwei Schnitte an jeder Seite des centralen Sinus.

Man darf diese Spaltung und das Freilegen der Hinterlappen nicht weiter treiben, als gerade erforderlich ist, um darauf die beiden Hinterlappen etwas in die Höhe heben zu können. Letzteres wird mit Hülfe von zwei Löffeln ausgeführt, die von einem Assistenten festgehalten werden. Die Zirbeldrüse erscheint dann im Gesichtsfeld durch das sie umhüllende Velum interpositum durchschimmernd.

Bei den ersten Versuchen wollte ich das Velum ebenfalls in die Höhe heben, um die Zirbel ganz freizulegen. Diese Operation ist aber wegen seiner grossen Zerreisslichkeit und der Verwachsungen sehr schwierig. Mit Hülfe eines zweiten Assistenten und mehrerer Abklemmungen würde sie, wahrscheinlich, dennoch ausführbar sein. Ein solcher stand mir eben nicht zur Verfügung; so zog ich es vor, die Drüse von dem umliegenden Gewebe nur so weit zu isoliren, bis man sie, sammt dem Ansatze der Pedunculi, ganz übersehen konnte.

Bei den Vorversuchen, um die es sich hier handelte, wollte ich vor Allem prüfen, ob man die Drüse direct und, eventuell ihre Pedunculi, mit den Elektroden wird erreichen können, um elektrische Reizungen an ihnen vornehmen zu können.

Ich beabsichtigte, wenn dies gelingen sollte, bei den nächsten Versuchen die Art. cruralis des Versuchsthieres mit einem Manometer zu verbinden und so die eventuellen Wirkungen der elektrischen Reizungen auf die Herzthätigkeit und den Blutstrom zu beobachten.

Schon bei diesen Vorversuchen fiel mir aber eine Thatsache auf, die meine ganze Aufmerksamkeit in Anspruch nahm: Der leiseste Contact der Elektroden, die mit einem Inductorium in Verbindung stand, das 5 Volts im primären Kreis zeigte, rief eine kleine Formveränderung der Zirbeldrüse hervor. Bei näherer Beobachtung erschien diese Formveränderung als eine Zusammenziehung, oder richtiger, als ein geringes Zusammenschrumpfen der Zirbel, das von einer leichten Lageveränderung begleitet war.

In drei Versuchen habe ich die gleiche Beobachtung machen können; die Thatsache selbst scheint mir daher unzweifelhaft zu sein. Eine Täuschung könnte nur daher rühren, dass die elektrische Reizung der nicht isolirten Pedunculi auf das Velum interpositum direct übertragen wurde und in demselben Gefässverengerungen erzeugte. Dadurch könnte möglicher Weise eine kleine Formveränderung der Zirbeldrüse, wenn nicht wirklich stattfinden, so doch vorgespiegelt werden. Abgesehen davon, dass es mir nicht gelang, solche Gefässverengerungen zu beobachten, so sollte man glauben, dass derartige Arterienzusammenziehungen um die Zirbeldrüse herum, eher den Eindruck machen müssten, dieselbe sei vergrössert und nicht verkleinert worden. Wie gesagt, tritt aber eine unzweifelhafte Verkleinerung derselben ein.

Wie könnte nun eine solche Verkleinerung erzeugt werden? Ich dachte zuerst, dieselbe rühre von einer Contraction der Blutgefässe der Zirbeldrüse selbst her. Derartige Volumveränderungen habe ich z. B. an einzelnen Abschnitten der Schilddrüse, bei Reizungen ihrer Vasomotoren, häufig wahrgenommen und beschrieben. Dieselben erscheinen auch bei Kaninchen sehr deutlich, besonders, wenn man als Beobachtungsobject die über die Trachea verlaufende, sehr gefässreiche Verbindungsbrücke zwischen den beiden Schilddrüsen wählt[1]). Die Schilddrüse ist aber an Blutgefässen sehr reich, und das blutstrotzende Aussehen derselben erleichtert ungemein die Beobachtung. Letzteres ist bei der Zirbeldrüse nicht der Fall, — und auch die aufmerksamste Betrachtung gestattete nicht, eine Aenderung ihrer Färbung mit Sicherheit zu constatiren.

Trotzdem sah ich damals keine Möglichkeit, die Formveränderung der Zirbeldrüse auf andere Weise zu erklären. Soviel mir bekannt war, existirten in der sehr reichhaltigen Literatur über den Bau der Zirbel keinerlei Angaben über das Vorhandensein von Muskelfasern im Gewebe der Zirbeldrüse selbst.

Welche physiologische Bedeutung könnte man einer Volumveränderung der Zirbeldrüse beilegen? Die Lage derselben auf der Bahn des Aquaeductus Sylvii, neben der Mündung des dritten Ventrikels brachte mich auf den Gedanken, ob eine Contraction, besonders, wenn von einer Verschiebung der Zirbeldrüse begleitet, nicht im Stande wäre, den Abfluss resp. den Zufluss der Cerebrospinalflüssigkeit aus dem, oder zu dem dritten Ventrikel zu reguliren?

Der Zirbeldrüse würde also die mechanische Rolle zukommen, auf automatischem Wege das Stromgebiet im Aquaeductus zu beherrschen und, je nach der Höhe des Druckes in dem dritten Ventrikel, dasselbe zu erweitern oder zu verengern.

Eine solche Hypothese erschien mir als die am meisten zulässige. Meine oben citirten Worte aus der Mittheilung vom Jahre 1901 (siehe oben S. 327) hatte eine derartige mechanische Verrichtung der Zirbeldrüse im Auge. Wenn ich dies damals nicht näher präcisirte, so lag dies nur daran, dass ich die Hoffnung hegte, meine sehr spärlichen Beobachtungen an Kaninchen, sowohl an

---

1) Beiträge zur Physiologie der Schilddrüse u. s. w. Cap. 4.

diesen Thieren aber unter günstigeren Versuchsbedingungen, als auch an grösseren Thieren bestätigen und erweitern zu können.

Ich bin aber schon jetzt im Stande, zu Gunsten meiner damaligen Hypothese eine gewichtige rein anatomische Stütze anzuführen. Im Begriffe, diese Mittheilung niederzuschreiben, liess ich einige Nachforschungen über die neueste Literatur[1]) des Baues der Zirbeldrüse anstellen. Dabei wurde ich auf eine Mittheilung von Professor N. Nicolas[2]) (Nancy) aufmerksam gemacht, welche das bestimmte Vorhandensein von quergestreiften Muskelfasern in der Glandula pinealis behauptet.

Die Lagerung dieser Muskelfasern soll nach Nicolas grosse Analogien mit denen des Herzmuskels zeigen.

Irgend welche Beziehungen dieser Fasern zu den Blutgefässen der Drüse hat Nicolas nicht beobachtet. „Leur présence dans la glande pinéale est aussi etonnante qu'incomprehensible", schreibt dieser Forscher. „Le point de depart et la raison d'être de cette differenciation m'échappent complétement."

Ich wendete mich nun an Prof. Nicolas mit der Nachfrage, ob die kurze Mittheilung in der Société de Biologie nicht von einer ausführlichen Beschreibung dieses wichtigen Fundes mit einer bildlichen Wiedergabe der Präparate gefolgt war. Nicolas hatte die Güte, mir die unter seiner Leitung von Fräulein Dimitrowa ausgeführte, sehr interessante Arbeit über den Bau der Zirbeldrüse bei einigen Säugethieren zuzusenden[3]).

Die sehr sorgfältig ausgeführte histologische Untersuchung des Baues der Zirbeldrüse hat die Anwesenheit von quergestreiften Muskelfasern nur bei Ochsen und Kälbern nachweisen können. Dieselben sind meistens oberflächlich gelegen, besonders in der Bindegewebshülle (capsule conjonctive).

Nicolas und Dimitrowa haben die Zirbeldrüse der Kaninchen nicht untersucht. Was diese Thiere anbetrifft, muss also die Frage über das Vorkommen von quergestreiften Muskelfasern in ihrem Conarium offen bleiben. Jedenfalls ist die Zirbeldrüse bei Kaninchen

---

1) Nur die französische Literatur wurde nachgeforscht.

2) Comptes rendus de la Société de Biologie. Octobre 1900.

3) Recherches sur le structure de la Glande pinéale chez quelques mammifères. Thèse. Louvain 1901.

sehr gut entwickelt; und wenn, wie doch anzunehmen ist, das Vorkommen von Muskelfasern bei den anderen Säugethieren eine physiologische Bedeutung hat, so muss es, nach der in den beschriebenen Versuchen gemachten Beobachtung, als höchst wahrscheinlich gelten, dass auch beim Kaninchen dieselben vorhanden seien. Der directe Nachweis muss freilich noch geliefert werden.

Jedenfalls verleiht die Thatsache, dass bei gewissen Säugethieren quergestreifte Muskelfasern in einer gewissen Menge in der Zirbeldrüse vorkommen, meinen Beobachtungen über die Formveränderungen derselben, bei elektrischer Erregung ihres Pedunculi, eine gewisse physiologische Bedeutung. Meine Hypothese über die physiologische Verrichtung der Zirbeldrüse gewinnt so eine sichere anatomische Unterlage. Es ist also gewiss angezeigt, die experimentelle Prüfung dieser Hypothese noch weiter zu verfolgen.

Versuche an Hunden scheinen mir, wegen ihrer grossen Resistenz gegen Operationen am Gehirn, in erster Linie für derartige Versuche in Betracht zu kommen. Freilich soll nach den Angaben von Ellenberger und Baum die Zirbeldrüse bei diesen Thieren sehr wenig entwickelt sein. Sie sei ungelappt und zeige noch mehrere andere Eigenthümlichkeiten.

Diese Angaben sind darum wahrscheinlich, weil dieses abweichende Verhalten der Zirbeldrüse bei Hunden auf eine Analogie zwischen dieser Drüse und der Hypophyse hinweist.

In meinen Untersuchungen über die Verrichtungen des Hirnanhangs habe ich auf die Schwierigkeiten hingewiesen, beim Hunde diese Drüsen von normalem Bau und in der Hypophysenhöhle eingeschlossen zu finden[1]). Nur an ganz jungen Hunden (etwa 1—3 Monate alten) gelang es, ganz befriedigende, und mit denen bei Kaninchen erhaltenen, übereinstimmende Ergebnisse zu erlangen.

Sollten also Versuche an Hunden gemacht werden, so dürfte man daher nur ganz junge Thiere wählen. Vielleicht werden ihre Zirbeldrüsen sich dennoch leistungsfähig erweisen.

Nach den Angaben von Dimitrowa sollen die Concremente sehr reichlich bei Drüsen von jungen Menschengehirnen vorkommen. Bei einem 55 jährigen Manne fehlten sie ganz. Auch dies weist auf eine

---

1) Auch bei älteren Pariser Hunden habe ich ähnliche Ausnahmen angetroffen. Ich glaube daher, dass alle Versuche mit Zerstörungen der Hypophyse, wo die letztere nicht intact herausgeholt wurde, sehr wenig beweisend sind.

Analogie mit der Hypophyse hin, von der Comte gezeigt hat, dass sie bei Menschen, die das 50. Jahr überschritten haben, nie normal sei. (Siehe darüber meine dritte Mittheilung über die Hypophyse, dieses Arch. Bd. 73 S. 488.)

Ueber die Zirbeldrüse bei Katzen habe ich keinerlei Erfahrungen. Dagegen scheinen Kälber und Hammel besonders für derartige Versuche angezeigt. Die Zirbeldrüse ist bei ihnen von einer relativ ganz ungewöhnlichen Grösse, länglich oval und rund bei Kälbern, dick und breit bei Hammeln. Wie ich dies bei Versuchen über die Hypophyse an Hammeln constatirt habe, bietet das Operiren an dem Gehirne dieser Thiere kaum grössere Schwierigkeiten als beim Hunde dar.

Freilich darf man, wegen des Befundes von Nicolas, bei Versuchen an der Zirbeldrüse nicht mehr zur Curarevergiftung greifen. Hammel vertragen übrigens sehr gut auch die Narkose mit Chloroform und Aether.

Bevor die Hypothese über die Rolle der Zirbeldrüse, als Regulator der Mengen der Cerebrospinalflüssigkeit in der Schädelhöhle nicht neue experimentelle Belege und Stützen gefunden haben wird, wäre es müssig, den Mechanismus zu erörtern, dank welchem sie ihre mechanische Aufgabe allein, oder mit Hülfe des Velum Interpositum Halleri, zu erfüllen vermag, sowie, eventuell, welche Bedeutung dabei den Salzconcrementen zukommt. Es soll hier nur die Richtung angedeutet werden, welche die zu diesem Zwecke anzustellenden Versuche einzuschlagen hätten. Im Allgemeinen wären dieselben Methoden zu verwenden, welche bei den Versuchen an der Hypophyse so präcise Aufklärungen über deren Rolle als Regulator des Blutdrucks in der Schädelhöhle geliefert haben. Das Verhalten der Zirbeldrüse bei künstlichem Erhöhen dieses Druckes, sei es durch Abklemmen der Bauchaorta, sei es durch künstliche Einführungen von Flüssigkeit in die Hirnventrikel, etwa in der Art, wie dies die Spina'schen Versuche erzielten, werden wohl am leichtesten den gesuchten Mechanismus demonstriren.

In meiner mehrmals erwähnten Arbeit habe ich die Vermuthung ausgesprochen, die mechanische Intervention der Zirbeldrüse werde von der Hypophyse aus in Thätigkeit gesetzt. Da jede Druckerhöhung im dritten Hirnventrikel durch die Vermittelung des Infundibulum zur Erregung der Hypophyse führen muss, so lag die Vermuthung nahe, diese Erregung versetzt auch den besprochenen

Mechanismus der Zirbeldrüse in Thätigkeit, um letztere bei der Entlastung des Hirndrucks mitwirken zu lassen.

Die Thatsache, dass sowohl Thiere auch nach der schonendsten Entfernung der Hypophyse, als auch Menschen, die an Hirntumosen in der Hypophysenhöhle leiden, sämmtlich an Erscheinungen des Hirndruckes (Coma, Sopor u. s. w.) in kurzer Zeit zu Grunde gehen, schien mir darauf hinzudeuten, dass entweder die Verrichtung der Zirbeldrüse von der Hypophyse vollkommen abhänge, oder dass die erstere allein nicht im Stande sei, einen vollgültigen Schutz gegen Hirndruck zu liefern [1]).

Noch ein anderer Umstand scheint zu Gunsten des physiologischen Zusammenwirkens der Hypophyse, der Schilddrüse und der Zirbeldrüse zu sprechen [2]).

Bei den in Bern ausgeführten Versuchen constatirte ich, dass man bei den dortigen Thieren sehr selten normale Hypophysen findet [3]). Andererseits hat Oswald, im Verlaufe unserer gemeinschaftlichen Untersuchungen über die vergleichenden Wirkungen von Thyreoglobulin und Jodothyrin, die merkwürdige Thatsache constatirt, dass die Schilddrüsen bei den Züricher Kälbern keine Spur von Jod, also kein Jodothyrin in ihren Schilddrüsen enthalten. Ihr Thyreoglobulin war auch ohne jede Wirkung auf das Nervensystem des Herzens und der Gefässe [4]). Schilddrüsen der Pariser Kälber enthalten, im Gegentheil, ganz ansehnliche Mengen Jod. In Anbetracht solchen Verhaltens der Hypophyse und der Schilddrüse bei den Schweizer Kälbern habe ich bei mehreren dieser Thiere, die aus dem Berner Oberlande stammten, makroskopisch die Zirbeldrüse untersucht. Ich fand sie in der That der Form nach von denen normaler Kälber abweichend; sie war stark abgeflacht, kurz und endete mit scharfem, häufig zackigem Rande; ihr Querschnitt war grösser als bei den Pariser Kälbern.

Auch beim Menschen sind mehrmals gleichzeitige und gleichartige Erkrankungen der Schilddrüsen, der Hypophyse und der Zirbeldrüse beobachtet worden [5]).

1) l. c. S. 578.

2) Siehe Nachtrag.

3) Dieses Archiv Bd. 81.

4) Dieses Archiv Bd. 83 S. 199 u. ff.

5) Ich citirte namentlich die Arbeit von Joseph Engel, Ueber den Hirnanhang und Trichter, Wien 1839, ausgeführt unter der Leitung von Rokitansky,

Der physiologische Zusammenhang der Zirbeldrüse mit der Hypophyse schliesst selbstverständlich die Möglichkeit nicht aus, dass die erstere die automatische Regulirung des Gehirndruckes, auch völlig unabhängig von der Hypophyse, selbst ausüben könne. Durch die Vermittlung der Pedunculi könnte ja eine zu grosse Anhäufung von Cerebrospinalflüssigkeit im dritten Ventrikel auch direct die Zirbeldrüse in Thätigkeit versetzen.

Nachtrag.

Während des Druckes dieser Arbeit erschien im 5.—6. Helft dieses Archivs (Bd. 97) die Untersuchung der Stromesgeschwindigkeit in verschiedenen Organen, ausgeführt von Dr. Tschuewsky, mit Hülfe der neuen registrirenden Stromuhr von Prof. Hürthle. Unter den angestellten Messungen des Blutstroms bieten die der Schilddrüse ein bedeutendes Interesse für die Lehre von den mechanischen Schutzorganen des Gehirns gegen übermässige Drucksteigerungen.

Die Stellung der Schilddrüse unter diesen Schutzorganen habe ich in meinen „Beiträgen zur Physiologie der Schilddrüse u. s. w." folgendendermaassen präcisirt.

„Bei plötzlichen Steigerungen des Blutdruckes, sei es durch verstärkte Herzarbeit, sei es durch Vermehrung der Widerstände in den peripherischen Blutbahnen, vermögen die Schilddrüsen, dank der oben beschriebenen Fähigkeit, grosse Blutmengen durch ihre Gefässe in kurzer Zeit durchzuleiten, dieselben also direct von der Karotis in den Venenblutstrom zurückzuführen, um ihnen den Eintritt in die Schädelhöhle zu verhindern. Die Schilddrüsen spielen also die Rolle von Nebenschliessungen von sehr geringem Widerstande" (l. c. S. 209).

Unter gewissen nervösen Einflüssen wird die Capacität der Schilddrüsen als Schleusenvorrichtungen, wie meine darauf bezüglichen Versuche dargethan haben, bedeutend erhöht. Die mechanische Rolle der Hypophyse besteht darin, diese Schleusenvorrichtungen automatisch zu beherrschen und zu reguliren.

---

die über derartige, sehr interessante Fälle berichtet; in einem dieser Fälle, syphilitischen Ursprungs, waren auch die sympathischen Ganglien mit erkrankt.

Zur Messung des Blutstroms in der Schilddrüse bediente ich mich eines in die Art. thyreoïdea sup. eingeführten Manometers, das den Seitendruck bestimmte, und der etwas primitiven Einrichtung, die Blutmengen, die in der Zeiteinheit aus der Vena thyreoïdea abflossen, zu messen. Die letzteren wurden mit den Blutmengen verglichen, die aus einer anderen Vene von gleichem Lumen, meistens der Vena saphena, ausflossen. Bei Reizungen der Vagi, oder der Hypophyse, pflegte die Stromesgeschwindigkeit in der Vena thyreoïdea bedeutend zuzunehmen, und zwar in viel höherem Grade als in der Saphena. Aber auch ohne künstliche Eingriffe war der Ausfluss aus der Schilddrüsenvene 2—4 Mal grösser als aus der Vena saphena.

Die Versuche von Tschuewsky, mit den viel präciseren Methoden von Hürthle ausgeführt, haben nun unvergleichlich grössere Differenzen zwischen der Stromesgeschwindigkeit in der Schilddrüse und der in den anderen Organen erkennen lassen. Um die grosse Tragweite dieser Differenzen hervortreten zu lassen, wollen wir hier die Zahlen aus der Zusammenstellung Tschuewsky's wiedergeben. Pro 100 g Organ und pro Minute beträgt das Stromvolum der Schilddrüse 560 ccm, der hinteren Extremität — 5 ccm; des ruhenden Skelettmuskels — 12 ccm; des Kopfes — 20 ccm und sogar der Niere nur 100 ccm!

Tschuewsky berechnet ferner, dass beim Hunde die Blutmenge 16 Mal täglich die Schilddrüsen durchströmt.

Welche Bedeutung darf man diesen, im Vergleich mit den anderen Organen, so ausserordentlich grossen Stromvolumina der Schilddrüsen beilegen? Ich gestehe, dass es mir ebenso unmöglich erscheint, eine zweckmässigere Einrichtung der Schilddrüsen als schleusenartige Schutzorgane des Gehirns, zu ersinnen, als auch für diese mächtigen Stromesgeschwindigkeiten eine passendere Bestimmung zu finden.

Meine Auffassung der mechanischen Rolle der Schilddrüsen findet also in den Untersuchungen Tschuewsky's eine neue, sehr gewichtige Bekräftigung.

Erklärung der Tafel.

Fig. 1. Versuch vom 28. April 1900. Bei *a* erste Einspritzung in die Vena jugularis von 2 ccm einer 5 % igen Lösung von Zirbeldrüsenextract.

Fig. 2. Einspritzung von 10 ccm desselben Extractes bei *a*.

Fig. 3. Bei *a* Durchschneidung des einen Vagus.

Fig. 4. Bei *b* Durchschneidung des zweiten Vagus.

Fig. 5. Versuch vom 5. Januar 1900. Erste Einspritzung von 2 ccm einer 1½ % igen Lösung von glycero-phosphorsaurem Natron.

Fig. 6. Fortsetzung der Curve 5 nach 2 ähnlichen Einspritzungen.

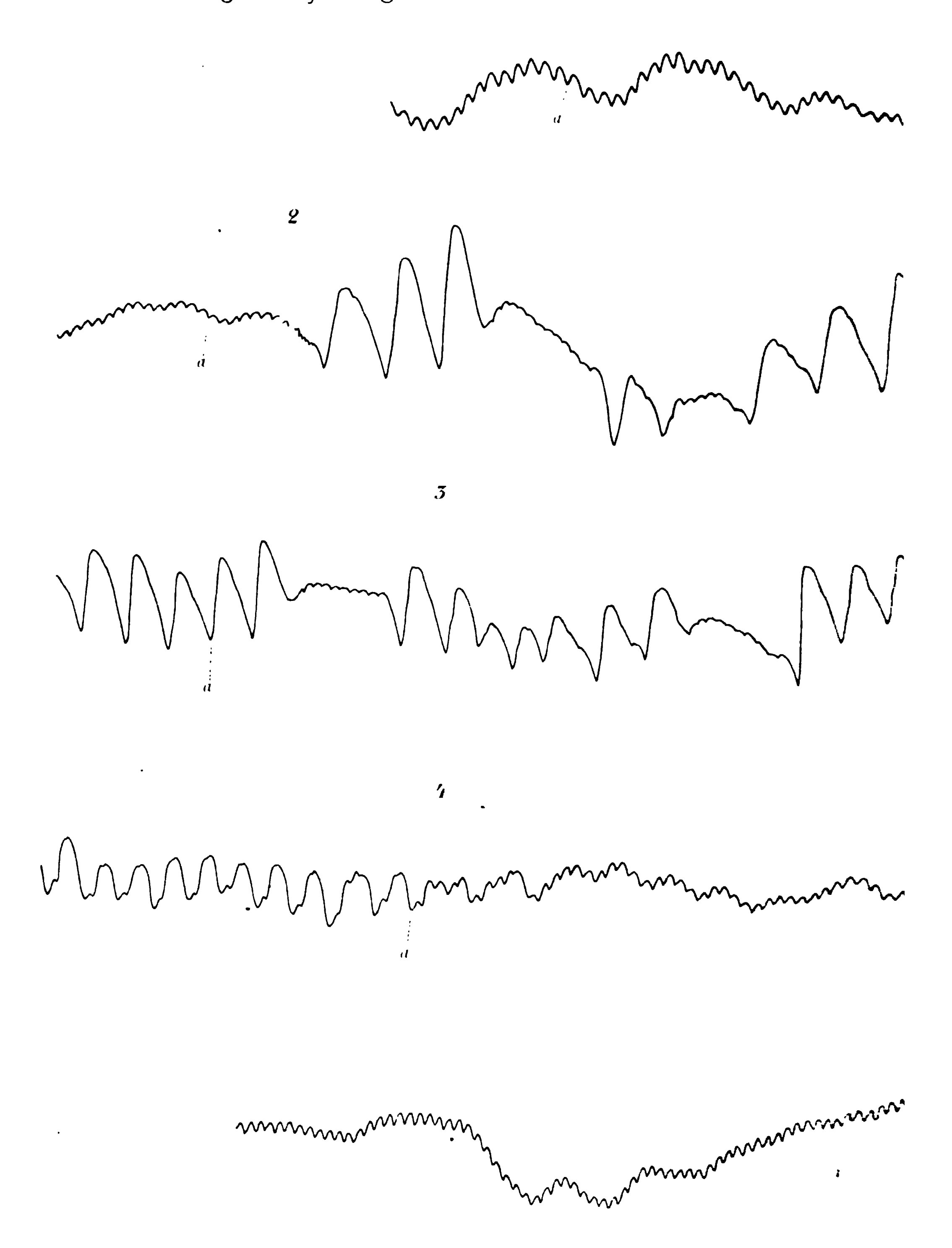
Fig. 7. Fortsetzung der Curve 6 nach einer vierten Einspritzung von 2 ccm derselben Lösung.

Fig. 8. Fortsetzung der Curve 4. Einspritzung von 10 ccm einer 5 % igen Lösung von glycero-phosphorsaurem Kalk beim Kaninchen vom 28. April 1900.

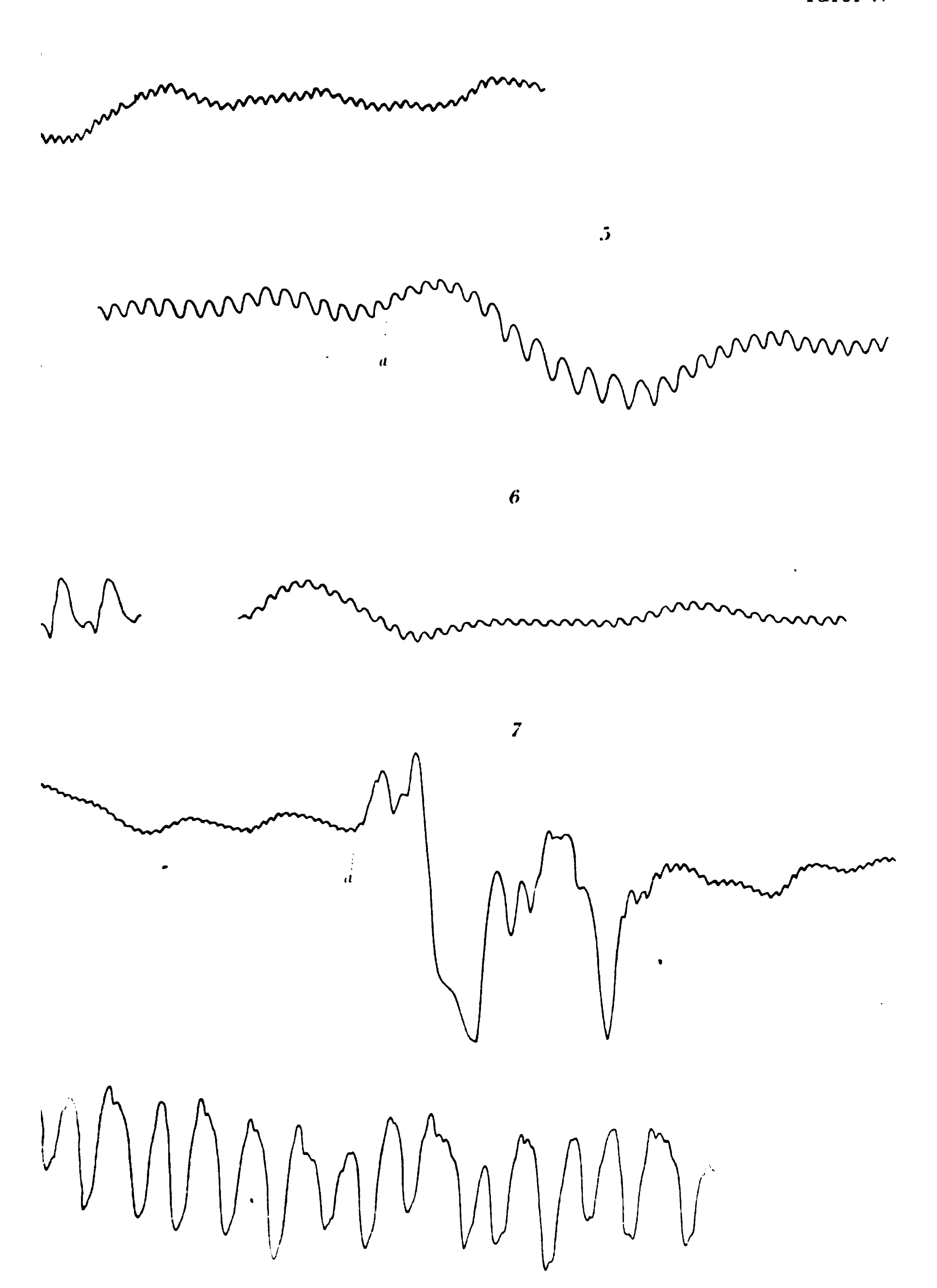
NB. Sämmtliche Curven sind von links nach rechts zu lesen.

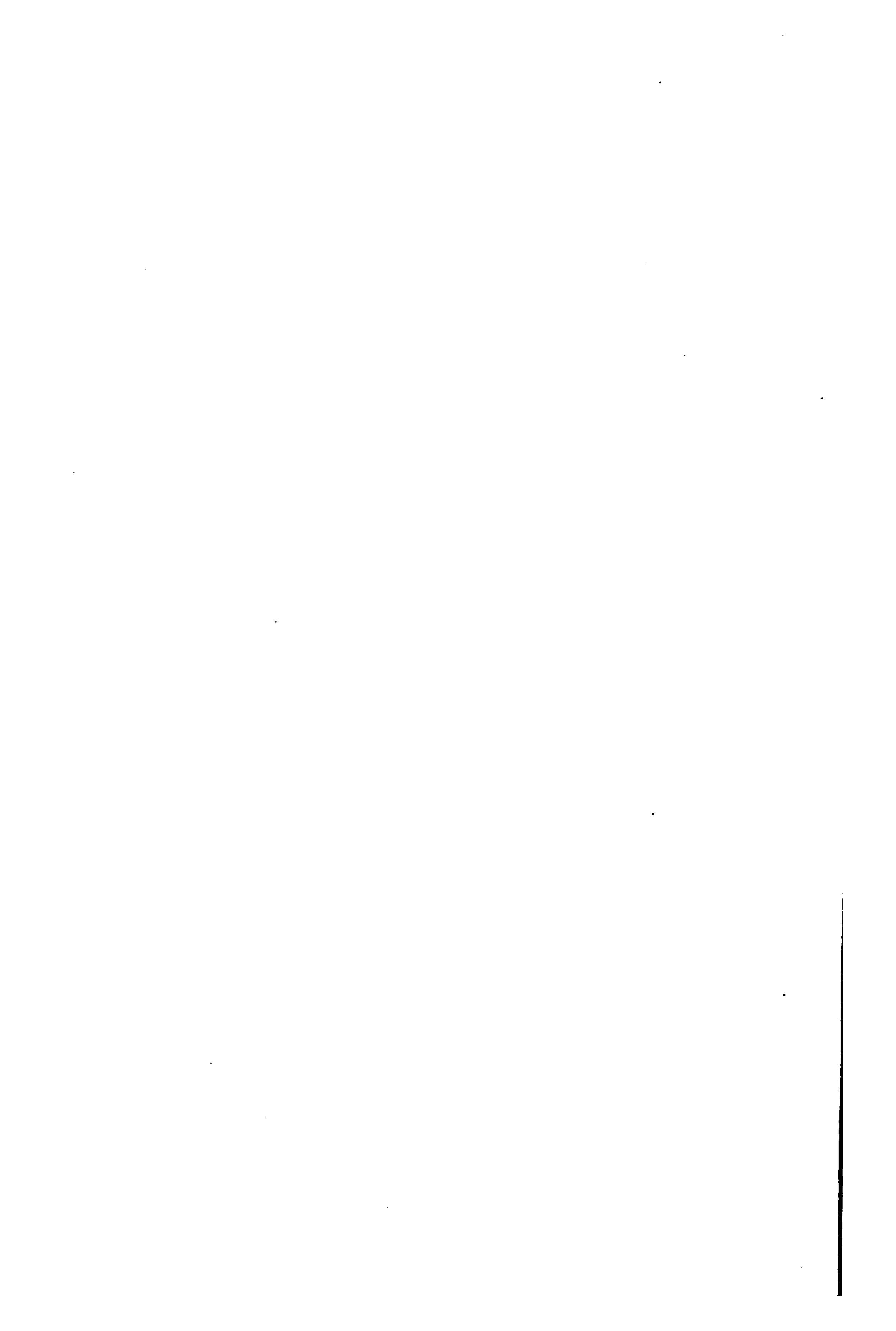


Archiv für die ges. Physiologie Bd 98.



Verlag von Emil Strauss, Bonn.


5
a
6
7
a



Ueber den Einfluss körperlicher Bewegungen auf die Pulszahl beim Gesunden.

Von

Dr. med. **Friedrich Tewildt,** Arzt in Bonn.

Dank der eifrigen manuellen Betastung des Pulses, die die alten Aerzte so geflissentlich betrieben, und der sie mit Recht sowohl in diagnostischer wie prognostischer Hinsicht oft grossen Werth beilegten, konnte es ihnen nicht lange entgehen, dass eine Reihe der verschiedensten Momente schon beim Gesunden eine Aenderung der Pulsfrequenz hervorruft, sei es im beschleunigenden, sei es im verlangsamenden Sinne.

So berichtet schon Albert v. Haller von einer Beschleunigung des Pulses durch Speiseaufnahme[1]): „Cibus sumptus chylum cordi submittit, pulsumque non minima ratione reddit frequentiorem"; ferner sagt er an einer anderen Stelle: „Ergo ab adfectibus animi, ira, terrore et pudore, variisque passionibus pulsus acceleratur, ut etiam medici praesentia in tenerioribus feminis arterias frequentius cogat micare." Ferner spricht Haller von einer Beschleunigung des Pulses durch Wärme, Arbeit des Geistes, Schmerz; Kälte dagegen verlangsame den Puls. Greise und phlegmatische Menschen besässen einen langsameren Puls als jugendliche und reizbare Personen. Sogar die Wirkung der verschiedensten Heilmittel auf den Puls war bereits bekannt. So spricht er von einer Verlangsamung des Pulses durch den Gebrauch „papaveris omniumque medicamentorum, quae nervorum tumultum sedant".

Als einen der wichtigsten Factoren, die einen beschleunigenden Einfluss auf die Frequenz des Pulses ausüben, führt Haller[2]) die Muskelbewegung an: „Has inter musculorum motus." Indessen scheint er sich mit der blossen Anführung dieser Thatsache begnügt zu haben, ohne sie durch experimentelle Untersuchungen zu erhärten.

---

1) Haller, Elementa Physiologiae corporis humani p. 251. Lausannae 1760.

2) Haller, a. a. O. S. 250.

Wenn man a priori auch wohl annehmen darf, dass der beschleunigende Einfluss körperlicher Bewegungen auf den Puls fast ebenso lange bekannt war als die manuelle Betastung des Pulses selbst, so scheint man sich doch lange Zeit mit der blossen Kenntniss dieser so in die Augen springenden Thatsache begnügt zu haben, ohne dass man genauere experimentelle Untersuchungen anstellte, die den Zweck hatten, den Einfluss gewisser bestimmter, gut ausführbarer körperlicher Bewegungen auf die Pulszahl zu prüfen.

Soweit ich aus der Literatur dieses Gegenstandes ersehen konnte, zog zuerst der englische Arzt Bryan Robinson[1]) im Jahre 1732 diese Frage mit in den Bereich seiner Untersuchungen. Er berichtet hierüber Folgendes: „Ein kräftiges Ausstrecken der Arme und Beine, hervorgerufen durch die Kraft des Willens, beschleunigte den Puls um 20 Schläge in der Minute und machte ihn zur selben Zeit so klein, dass er kaum gefühlt werden konnte. Der Puls eines Mannes, der liegt, sitzt, steht oder eine Strecke von zwei (engl.) Meilen oder von vier (engl.) Meilen in einer Stunde zurücklegt oder läuft, so schnell als er kann, beträgt 64, 68, 78, 100, 140 und 150 oder mehr Schläge in der Minute. Richtet der Körper sich auf, so beginnt der Puls schneller zu werden, im selben Augenblick, wo der Körper sich zu erheben oder die Seele ihre Macht auszuüben beginnt; und wenn der Körper sich bewegt, dann schlägt der Puls noch schneller, und die Kraft der Seele, den Körper zu bewegen, ist noch grösser, entsprechend der Schnelligkeit der Bewegung. Wenn der Körper zuerst aufsteht und sich zu bewegen beginnt, dann ist der Puls kleiner als er vorher war, aber er wird grösser in dem Grade, als der Körper sich erwärmt. Ein Ausbruch des Gelächters hat den Puls um 25 Schläge, und Athmen drei oder vier Mal schneller als gewöhnlich um 13 oder 14 Schläge in der Minute beschleunigt. Der Puls wird beschleunigt durch Husten, Schlucken, lautes Lachen, sowie durch jede Bewegung, die durch die Kraft der Seele hervorgebracht wird. Hieraus erhellt, dass die Herzbewegung mittelbar oder unmittelbar durch jeden Wechsel der Erregung, Thätigkeit oder Kraft der Seele beeinflusst wird."

Floyer[2]) sah durch körperliche Uebung den Puls um 17 Schläge

---

1) Bryan Robinson, A Treatise of the animal Oeconomy 2. Aufl. S. 180. Dublin 1735.

2) J. Floyer, The physic. pulsewatch. Cit. nach Haller, a. a. O. S. 264.

anwachsen, und nach einem Spaziergange von 70 auf 90 und 112, beim Mädchen dagegen von 75 auf 110 sich vermehren. Das Reiten, wobei die Muskeln nur wenig thätig seien, hat nach ihm nur einen geringen Einfluss auf die Pulsfrequenz. Durch Laufen, Springen und jede stärkere Bewegung nehme wie die Schwächung auch die Wärme, Röthe, Schweiss und Schärfe der Säfte nicht weniger zu als in einem heftigen Fieber, so dass der Puls zuletzt eine Frequenz von 130 bis 140 Schlägen in der Minute habe. Uebrigens sei es leicht einzusehen, dass die Pulsfrequenz durch Muskelbewegung um so stärker beeinflusst werde, je schwerer die Körpermasse, je schneller und ungewohnter die Bewegung sei.

M'Donnel von Belfast[1]) will schon 1784 eine regelmässige Verschiedenheit der Pulsfrequenz bei den verschiedenen Körperlagen beobachtet haben. Demnach variirt der Puls, „je nachdem wir liegen, sitzen oder stehen, um 12, 14 oder 16 Schläge in der Minute, und man kann auf Angaben der Pulsfrequenz nichts geben, solange dieser Umstand dabei nicht berücksichtigt wird. Die angegebenen Verhältnisszahlen schwanken jedoch bedeutend in Krankheitsfällen.“ Nach ihm steht die Frequenz des Pulses im geraden Verhältniss zur Frequenz der Schritte beim gewöhnlichen Gehen; doch beim Laufen und anderen heftigeren Bewegungen werden Respiration und Puls mehr alterirt.

Eingehendere Untersuchungen über eine Reihe der verschiedensten Dinge, die die Pulsfrequenz beeinflussen, stellte 1797 der englische Arzt Falconer[2]) an. Was die Veränderungen des Pulses durch körperliche Bewegung angeht, so sagt er: „Jede Art von Bewegung beschleunigt den Puls. Selbst die geringe Anstrengung, welche erforderlich ist, den Körper beim Stehen aufrecht zu erhalten, reicht zu, dem Puls eine sehr merkbare Schnelligkeit im Vergleich mit der sitzenden oder liegenden Lage des Körpers zu geben. Das Resultat von einundzwanzig genau gemachten Versuchen, an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Zeiten des Tages angestellt, beweist diese Thatsache deutlich. Der grösste Unterschied in den Pulsschlägen war ‚Dreizehn‘ und der geringste ‚Einer‘ in der Minute. Diese beiden Extreme kamen jedoch nur ein Mal vor. Der Mittelunter-

1) M'Donnel, Differentialpulse. Cit. nach Schmidt's Jahrb. d. Med. Bd. 11 H. 3 S. 375. 1836.

2) Falconer, Beobachtungen über den Puls. Aus dem Engl. übers. von Kausch. S. 34. Leipzig 1797.

schied zwischen den oben gedachten Stellungen des Körpers betrug in der Minute gegen sechs Schläge und ein Dritttheil."

1815 fand Knox[1]), nachdem er an einem mässig warmen Tage im August einen Weg von nahezu 40 (englischen) Meilen in der Zeit zwischen 1 und 11^h p. m. zurückgelegt hatte, seinen Puls am anderen Morgen gegen 7 Uhr noch in der Frequenz von 80 Schlägen. Nach dem Frühstück, zu dem er ein kleines Glas „of spirits" nahm, stieg sein Puls auf 104 Schläge. Knox sagt geradezu: „The most powerful stimulant, which can be applied in order to increase the action of the heart, is ‚exercise'."[2]) Nach ihm erfordert ein Marsch von 4 Meilen, in einer Stunde zurückgelegt, wenigstens einen Puls von 132 Schlägen in der Minute, und die „Tageszeit und die Fortsetzung der Bewegung beeinflusst die Schnelligkeit des Pulses weniger, als man von vorneherein erwarten sollte". Indessen fügt er ausdrücklich hinzu, dass man ein solches Anwachsen nicht bei jedem Individuum antrifft. Knox sucht vor Allem nachzuweisen, dass die Tageszeit einen Einfluss auf die durch Bewegung gewonnene Beschleunigung des Pulses hat. So soll der blosse Uebergang von der horizontalen Lage in die aufrechte stehende während des Morgens ein Anwachsen des Pulses von ungefähr 15 bis 20 Schlägen hervorrufen[3]), des Mittags dagegen die Differenz 10 und des Abends sogar nur 4 oder 6 Schläge betragen. Der Effect dagegen, den der Uebergang von der horizontalen in die sitzende Lage hervorrufe, sei nicht halb so gross. Noch eclatanter trete die Sache bei Kranken zu Tage, wobei eine geringe Bewegung den Puls um 50 bis 60 Schläge beschleunige.

Weitere Untersuchungen über den Puls des Gesunden stellte 1826 Nick[4]) an. Dadurch, dass er sich Morgens im Bett reckte und streckte, wozu er jedes Mal viel gähnen musste, bemerkte er eine Frequenzzunahme bis zu 9 Schlägen; oft allerdings betrug dieselbe nur 4—6 Schläge. Nach Fahren in einer Kutsche, auch wenn es mehrere Stunden dauerte, bemerkte er nur eine Steigerung der Pulszahl um 6—8 Schläge, und dies auch nur dann, wenn er weniger

1) Knox, Observations on the diurnal Revolutions of the Pulse. Edinburgh med. and surg. Journ. vol. 11 Sect. I u. II. 1815.

2) Knox, a. a. O. S. 165.

3) Nicht 13 und 5—6 Abends, wie Nick schreibt.

4) Nick, Beobachtungen über die Bedingungen, unter denen die Häufigkeit des Pulses im gesunden Zustande verändert wird. Tübingen 1826.

als 80 Pulsschläge vorher hatte. Durch Sitzen auf einer im Gange befindlichen Drehbank wurde in Folge der Erschütterung — im Sinne passiver Bewegung — sein Puls um 2—4 Schläge vermehrt. Die Vermehrung trat schon innerhalb der ersten zehn Minuten ein und wurde nicht gesteigert, wenn er auch eine halbe Stunde und länger sitzen blieb. Diese Frequenzzunahme beobachtete er indessen nicht, wenn sein Puls mehr als 80 Schläge vor dem Versuche hatte. Sie kam am leichtesten zu Stande, wenn seine Frequenz nur 66—68 Schläge betrug. Dem Reiten schreibt Nick grössere Einwirkung auf den Puls zu als Floyer[1]). Durch Schrittreiten stieg sein Puls auf 85—90 Schläge; durch Trabreiten, über eine Viertelstunde ausgedehnt, stieg er auf 112—120 Schläge, die aber mit dem Aufhören des Trabens schnell abnahmen. Ferner stieg bei mässig schnellem Gehen, indem er etwa 60—70 Schritte in der Minute machte, sein Puls um 6—8 Schläge. Dies jedoch nur dann, wenn derselbe vorher nicht über 80 war, und er blieb so, selbst bei längerer Dauer des Versuches. Wurde die Anzahl der Schritte in einer Minute verdoppelt, so dass zwei Schritte auf eine Secunde kamen, so stieg sein sowie seiner Freunde Puls nach 6—8 Minuten auf 90—96 Schläge, nach einer halben Stunde auf 106—108. War die Bewegungsschnelligkeit so gross, dass in einer Secunde 6 Schritte zurückgelegt wurden, so stieg der Puls auf 112—115. Beim gemüthlichen Hinaufgehen eines ziemlich steilen Bergpfades von 230 Schritt Länge in 2³/₄ Minuten stieg sein Puls auf 120 Schläge; brauchte er dazu nur 1¹/₂ Minute, so stieg derselbe etwa auf 160 Schläge. Lief er den Berg so schnell herauf, als er konnte, so war es ihm oft unmöglich, den Puls in der ersten viertel oder halben Minute zu zählen, und erst dann konnte er gegen 160 Schläge constatiren. Selbst Besteigen kleiner Anhöhen, wie der Treppen, bewirkt nach ihm bedeutende Erhöhung der Pulszahl. So erhielt er gewöhnlich, wenn er die 37 Stufen, die zu seinem Zimmer führten, in einer halben Minute bestieg, eine Vermehrung bis auf 115—120 Schläge. Die Wirkung des Tanzens auf den Puls beobachtete er an einem seiner Freunde. Nach einem Walzer von ungefähr 10 Minuten Dauer, den Dieser schnell tanzte, nachdem er vorher ³/₄ Schoppen Wein getrunken hatte, stieg dessen Puls von 74 auf 144 Schläge; nach einem zweiten Walzer, den derselbe schwächer tanzte, auf 124

---

1) Siehe S. 348 dieser Abhandl.

und nach einem dritten auf 148 Schläge in der Minute. Was die verschiedenen Veränderungen der Lage des Körpers angeht, so findet Nick: Durch Aufrichten im Bett von der liegenden in die sitzende Stellung eine Beschleunigung von 4—7 Schlägen, die aber nach einigen Minuten wieder um 3—4 Schläge zurückgeht. Abends ist diese Veränderung häufig um 1—3 Schläge geringer. Durch Aufrichten am Morgen fand er immer eine Zunahme von 15—20 Schlägen. Veränderte er dagegen die stehende Stellung in die sitzende, so sank der Puls allmählich herab, blieb aber um 2—3 Schläge frequenter als in der liegenden Stellung.

Robert Graves[1]), 1830, untersuchte besonders den Einfluss der Körperlage, „produced by posture", auf den Puls, was nicht zu verwechseln ist mit dem Einfluss, den der „Wechsel" der Körperlage auf die Pulsfrequenz hervorruft. Wenn dies auch streng genommen nicht unser Thema direct trifft, so berührt es doch insofern dasselbe, als bei den verschiedenen Lagen des Körpers ebenso die Muskeln in Action treten, den Körper in der einmal eingenommenen Lage zu erhalten, wie bei jeder körperlichen Bewegung. Graves kommt auf Grund seiner Untersuchungen zu folgenden Schlüssen: Bei gesunden Menschen ist der Puls in der aufrechten Stellung um 6—15 Schläge in der Minute frequenter als in der horizontalen Lage. Hat der Puls eine Frequenz von 60 Schlägen, so beträgt diese Differenz nicht mehr als 6—8. Sie steigt mit der Frequenz des Pulses zur Zeit des Experimentes, so dass, wenn der Puls in Folge einer mässigen Bewegung auf 90 oder 100 gestiegen ist, es nichts Ungewöhnliches ist, eine Differenz von 20 oder 30 Schlägen zu finden. Was seine Beobachtungen über den Einfluss des Lagewechsels auf die Pulsfrequenz angeht, so sagt er: Die Differenz der Pulsschläge, die durch den Uebergang einer Körperstellung in die andere hervorgebracht wird, ist am grössten bei Kranken, wo der Unterschied zwischen aufrechter und horizontaler Lage 30, 40, ja sogar 50 Schläge betragen kann; am geringsten dagegen bei Gesunden, wobei sie oft nicht auf 10 steigt. In einigen Fällen ist der Anstieg der Frequenz grösser zwischen der horizontalen und sitzenden Stellung als zwischen der horizontalen und aufrechten Stellung.

1837 machte Knox[2]) als Fortsetzung seiner im Jahre

1) Graves, On the pulse. Dublin hospital reports vol. 5. 1830.

2) Knox, On the Pulsations of the Heart. Edinburgh med. and surg. Journ. vol. 47. 1837.

1815[1]) bereits angestellten Untersuchungen abermals Mittheilungen über seine neuen Beobachtungen. Nachdem ein junger, gesunder, muskelkräftiger Mann eine englische Meile in einer Viertelstunde zurückgelegt hatte, zählte er dessen Puls in Zwischenzeiten von 5 Minuten und fand:

In der	1.,	5.,	10.,	15.,	20.,	25.,	30.	Minute
	105,	93,	90,	88,	88,	88,	88	Pulse.

Nachdem er vier Meilen in einer Stunde zurückgelegt hatte:

In der	1.,	5.,	10.,	15.,	20.,	25.,	30.	Minute
	90,	85,	70,	80,	75,	77,	75	Pulse.

Nachdem er eine englische Meile in 10 Minuten zurückgelegt hatte:

In der	1.,	5.,	10.,	15.,	20.,	25.,	30.	Minute
	124,	110,	100,	100,	98,	97,	90	Pulse.

Nach ihm ist Muskelbewegung der mächtigste Stimulus der Herzaction, und sie treibt die Pulszahl zu einer „Höhe, die der Fieberpuls nicht erreicht".

Sehr genaue und exacte Beobachtungen über eine Reihe von Momenten, die einen Einfluss auf die Frequenz des Pulses haben, veröffentlichte 1838 W. A. Guy[2]). Dieser machte seine Untersuchuugen an 100 Männern und 50 Frauen. Dieselben erstreckten sich über einen Zeitraum von 6 Jahren, von 1832—1838. Guy suchte besonders den Einfluss der verschiedenen Körperlagen auf die Pulsfrequenz klarzulegen, worüber ich bereits bei Graves[3]) das für unsere Beobachtungen Nöthige besprochen habe; ferner untersuchte er den Einfluss, welchen Alter und Geschlecht auf den Puls haben. Leider scheint er den Einfluss körperlicher Bewegungen auf die Pulsfrequenz bei seinen Beobachtungen vollständig vernachlässigt zu haben; ja, er schloss denselben absichtlich aus, indem er nach jeder Aenderung der Körperstellung erst einige Minuten wartete, bevor der Puls gezählt wurde. Auch in seiner Abhandlung „Pulse"[4]) führt er unter „exercise" lediglich die bereits erwähnten Resultate früherer Forscher an.

1) Siehe S. 350.

2) W. A. Guy, On the Effect produced upon the Pulse by Change of Posture. Guy's Hospital Reports vol. 3 p. 92 u. 308. 1838.

3) Siehe S. 352 dieser Abhandlung.

4) The Pulse. W. A. Guy in Todd's Cyklopædia of anatomy and physiology vol. 4, 1. 1848.

1843 suchte Harden[1]) in einer Reihe von Versuchen, die er an seiner eigenen Person anstellte, die Veränderungen des Pulses und der Athmung in verschiedenen Lagen nach Ruhe und Bewegung zu erforschen. Seine Resultate hier anzuführen möge mir erspart bleiben, da sie weniger für unser Thema von Bedeutung sind.

Im Jahre 1852 stellten Lichtenfels und Fröhlich[2]) Untersuchungen an über eine Reihe von Dingen, die auf die Frequenz des Pulses Einfluss haben. Sie suchten den täglichen Gang des Pulses und der Körperwärme, den Einfluss der gebräuchlichsten geistigen Getränke, die Wirkung narkotischer Stoffe und der Nahrungsentziehung auf Puls und Körperwärme zu erforschen. Auch stellten sie einige wenige Untersuchungen „über den Einfluss der Muskelthätigkeit auf die Pulsfrequenz“ an. Sie suchten hierbei vor Allem die „Form“ der Bewegung der Pulsfrequenz zu ermitteln, und „nicht kam es uns zunächst darauf an, für alle möglichen complicirten Bewegungen, wie Gehen, Laufen, Springen u. s. f., die ihnen etwa eigens zukommende Grösse des Steigens der Pulsfrequenz besonders zu bestimmen“[3]). Nach diesen Beobachtern haben von allen Ursachen, welche auf die Pulsfrequenz wirken, Bewegungen von grosser Geschwindigkeit den grössten Effect.

In den nächsten drei Decennien scheinen, soweit ich aus der Litteraturangabe ersehen konnte, keine bemerkenswertheren Beobachtungen über den Einfluss von Körperbewegung auf die Pulsfrequenz gemacht worden zu sein.

In diese Zeit fällt die Entdeckung des Sphygmographen, den Vierordt[4]) 1855 noch als complicirte Maschine beschreibt, der später Verbesserungen durch Marey und Andere erfuhr. Die bis dahin so eifrig gepflegte palpatorische Untersuchungsmethode des Pulses trat nun mehr und mehr in den Hintergrund, war man doch jetzt in den Stand gesetzt, die feineren Schwingungen des elastischen Arterienrohres graphisch darzustellen und so durch den Vergleich eines grossen Curvenmaterials besonders die Veränderungen der Pulsform eingehend zu studiren und Licht zu bringen in bis dahin

---

1) Harden, Observations on the Pulse and Respiration. Americ. Journ. on the medic. sciences vol. 5. 1843.

2) Lichtenfels und Fröhlich, Denkschriften der kaiserl. Akademie der Wissensch. Bd. 3. Wien 1852.

3) Lichtenfels und Fröhlich, a. a. O. S. 146.

4) Vierordt, Die Lehre vom Arterienpuls. Braunschweig 1855.

noch dunkles Gebiet. So ist es sehr erklärlich, dass das Studium speciell von Dingen, die auf die „Frequenz" des Pulses von Einfluss sind, zumal dazu ein Sphygmograph entbehrlich ist, mehr und mehr vernachlässigt wurde und einer Erforschung der feineren Bewegungsverhältnisse des elastischen Arterienrohres Platz machte.

So untersuchte Spengler[1]) 1877 auf Grund eines grossen gesammelten Curvenmaterials die Veränderungen des Radialpulses während und nach Aenderung der Körperstellung, wobei es ihm jedoch weniger auf die Pulsfrequenz als besonders auf die Veränderung der „Pulsform" ankam, die er durch Vergleichung der verschiedenen Curven zu bestimmen suchte.

Erst 1894 stellte Christ[2]) Untersuchungen über den „Einfluss der Muskelarbeit auf die Herzthätigkeit" an. Dieser liess seine Versuchspersonen, theils Gesunde, theils Kranke, eine gewisse Arbeit am Ergostaten leisten und beobachtete danach die durch dieselbe hervorgerufene Steigerung der Pulsfrequenz. Er fand, dass bei Gesunden mit der Grösse der Arbeitsleistung die Pulsfrequenz bis zu einem gewissen Grade zunehme, während jedoch bei einer bestimmten Höhe der Arbeitsleistung dieser Parallelismus aufhöre.

1895 veröffentlichte Minas Minassian[3]) seine Beobachtungen über den „Einfluss der Körperlage auf die Herzthätigkeit". Während Spengler[4]) hauptsächlich die Veränderung der „Pulsform" zum Gegenstand seiner Untersuchungen machte, suchte Minassian die Veränderungen der „Pulsfrequenz und des Blutdrucks" zu erforschen. Seine Untersuchungen haben jedoch nur entferntere Beziehung zu unserem Thema, zumal da er jede active Bewegung auszuschliessen suchte, dadurch, dass er seine Versuchsperson auf ein um eine horizontale Achse drehbares Brett band.

Eingehendere Untersuchungen über den Einfluss der Muskelthätigkeit auf die Frequenz des Pulses stellte danach Staehelin[5])

---

1) Spengler, Die Veränderungen des Radialpulses während und nach Aenderung der Körperstellung. Inaug.-Dissert. Zürich 1887.

2) H. Christ, Ueber den Einfluss der Muskelarbeit auf die Herzthätigkeit. Inaug.-Dissert. Basel 1894.

3) Minas Minassian, Untersuchungen über den Einfluss der Körperlage auf die Herzthätigkeit. Inaug.-Dissert. Basel 1895.

4) Siehe oben.

5) Staehelin, Ueber den Einfluss der Muskelarbeit auf die Herzthätigkeit. I. Mittheilung: Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 59. 1897. II. Mittheilung: Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 67. 1900.

an. Er machte hierüber zwei Mittheilungen, 1897 und 1900, wovon sich die eine auf Gesunde, die andere, später veröffentlichte, auf Kranke bezieht. Staehelin liess seine Versuchspersonen abwechselnd eine Tretarbeit von 1000, 4500 und 10000 kgm an dem schon von Christ[1]) benutzten Ergostaten leisten. Seine Beobachtungen stimmen mit den von Christ gefundenen darin überein, dass mit der Zunahme der Arbeitsleistung die Pulsfrequenz steige. Diese Frequenz sei jedoch nach kleiner Arbeit verhältnissmässig geringer als nach mittlerer, während sie nach der grossen Arbeit ganz bedeutend würde. Die Differenz zwischen der kleinsten und grössten Zunahme beträgt in der ersten Gruppe 16, in der zweiten 29 und in der dritten Gruppe bei der Arbeitsleistung von 10 000 kgm 32 Pulsationen. Also grosse Differenzen bei den einzelnen Individuen, deren Grund er in der Verschiedenheit der constitutionellen Anlage glaubt suchen zu müssen.

1900 machte Privatdocent Langowoy[2]) seine Untersuchungen über den Einfluss der Körperlage auf die Pulsfrequenz bekannt. Seine Beobachtungen beziehen sich fast ausschliesslich auf Kranke. An Gesunden constatirte er beim Uebergang aus der horizontalen in die verticale Lage stets eine Zunahme der Pulsfrequenz.

Im Jahre 1901 veröffentlichten Zuntz und Schumburg[3]) ihre physiologischen Marschuntersuchungen, die sie an fünf Studirenden des Friedrich Wilhelm-Instituts in Berlin anstellten, welche vollständig feldmarschmässig eingekleidet wurden und mit abwechselnd verschieden starker Belastung einen Weg von 24,75 km zurücklegen mussten. Sie beobachteten danach „die Function aller derjenigen Organe, von denen man annehmen konnte, dass ihre Thätigkeit durch den Marsch und die Belastung beeinflusst werden könnte“ [4]). So untersuchten sie den Einfluss des Marsches auf den Puls, auf Herz, Leber, Blut, Respiration, Temperatur und mehr. Die einzelnen Daten bezüglich der Pulsfrequenz hier anzuführen würde mich zu weit führen; es sei nur erwähnt, dass diese Forscher zuweilen nach der Ruhe eines Haltes, bei nicht sehr anstrengendem

---

1) Siehe S. 355.

2) Langowoy, Ueber den Einfluss der Körperlage auf die Frequenz der Herzcontractionen. Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 68. 1900.

3) Zuntz und Schumburg, Studien zu einer Physiologie des Marsches. Berlin 1901.

4) Zuntz und Schumburg, a. a. O. S. 28.

Marsche, die Pulsfrequenz unter diejenige herabsteigen sahen, welche vor dem Marsche notirt wurde. Zuntz und Schumburg zeigten eclatant den Einfluss starker Belastung auf die Herzthätigkeit.

Zum Schlusse erwähne ich noch die Arbeit von Kolb[1]). Dieser, selbst Sportsmann durch und durch, prüfte immer den Einfluss „grösster" Anstrengung, wie diese im Training der verschiedenen Sportarten, wie Rudern, Wettlauf, Radfahren u. s. f., häufig in Betracht kommt. Ausser deren Einwirkung auf das Herz prüfte er ihren Einfluss auf die Athmung, den Blutdruck und mehr, ähnlich wie Zuntz und Schumburg es betreffs des Marsches thaten. Nach maximalen Leistungen dieser besttrainirten Sportsmannschaften findet er den Puls nicht selten auf und über 200 Schläge in der Minute ansteigen, die jedoch sehr rasch an Zahl wieder abnehmen.

Nachdem ich die Literatur dieses Gegenstandes nun zusammengestellt habe, seien mir noch einige Worte in kurzem Rückblick auf dieselbe gestattet. Wie aus dem Angeführten hervorgeht, sind die ersten Untersuchungen über unser Thema ausschliesslich von englischen Aerzten angestellt worden, während später deutsche Autoren an ihre Stelle traten. Wenn es vielleicht im ersten Augenblick Jemandem scheinen sollte, ich sei zum Theil zu weitläufig in der Angabe der Literatur gewesen, indem ich verschiedene Autoren anführte, die streng genommen nicht unser Thema: Einfluss der Körper„bewegung" auf die Pulsfrequenz in den Vordergrund ihrer Betrachtungen stellten, so möchte ich dazu bemerken, dass ich mir dessen wohlbewusst war. Ich hielt es indessen für interessant genug, ja sogar für nothwendig, auch einige dieser Autoren anzuführen, da ihre Beobachtungen doch in mehr oder weniger naher Beziehung zu unserem Thema stehen, ja, in gewissem Sinne identisch mit demselben sind, wie z. B. die „Untersuchungen über den Einfluss der Muskelcontraction auf die Herzfrequenz", — derselbe Factor, der in erster Linie die Ursache der vermehrten Pulsfrequenz ist, die durch Körperbewegungen hervorgerufen wird. Aber was doch speciell letztere angeht, so muss man sich nach der Literaturangabe eigentlich wundern, dass so relativ wenig und systematisch Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt worden sind. Dies lässt sich meines Erachtens dadurch erklären, dass fast alle angeführten Autoren, die den Einfluss

---

1) Kolb, Beiträge zur Physiologie maximaler Muskelarbeit, besonders des modernen Sports. Berlin.

körperlicher Bewegungen auf die Pulsfrequenz untersucht haben, noch ausserdem Beobachtungen über eine mehr oder minder grosse Anzahl anderer Factoren anstellten, die dem Puls einen — sei es beschleunigenden, sei es verlangsamenden — Charakter verleihen. So konnten sie den Einfluss körperlicher Bewegung auf die Frequenz der Herzcontractionen natürlich nicht mit derjenigen Ausführlichkeit behandeln, die vielleicht wünschenswerth gewesen wäre. Es dürfte daher, nach allen diesen Erörterungen, wohl mit Recht einiges Interesse erheischen, als Fortsetzung und Ergänzung bereits gemachter Beobachtungen über den Einfluss körperlicher Bewegung auf die Pulsfrequenz eine Reihe neuer Versuche anzustellen.

Personalien.

Bin 26 Jahre alt, Cand. med., besitze eine Körpergrösse von 1,70 m und bin 140 Pfd. schwer und vollkommen gesund.

Auch alle übrigen Versuchspersonen waren vollkommen gesunde Männer und standen, mit Ausnahme eines einzigen, im Alter von 20—30 Jahren.

Eigene Versuche.

Vorbemerkungen.

Zunächst einige Bemerkungen bezüglich der Methodik, die bei den Untersuchungen angewandt wurde, unter deren Voraussetzung allein die beobachteten Zahlen verstanden werden können.

Von dem Gebrauche des Sphygmographen von Vierordt und Marey konnte ich absehen, da man zur blossen Feststellung der Pulsfrequenz eines solchen nicht bedarf. Etwas Anderes ist es, wenn etwa die Pulsgrösse und Pulsform bestimmt werden soll. Aber auch abgesehen davon, dass eine genaue, exacte Handhabung des Sphygmographen grosse Uebung erfordert, die ich mir anzueignen während meiner Studienzeit bis jetzt nicht Gelegenheit hatte, wäre der Gebrauch desselben für meine Zwecke auch insofern illusorisch gewesen, als er sich nur zu leicht bei den fortwährenden Bewegungen verschoben hätte; denn ich konnte den Sphygmographen nicht erst nach vollendeter Bewegung anlegen, da es mir darauf ankommen musste, „unmittelbar" nach jeder Bewegung die Pulsfrequenz zu bestimmen, die bei kleineren Bewegungsvorgängen, wie gerade ich sie erforschen sollte, oft sehr schnell zur Norm zurückkehrt. Uebrigens

haben auch alle früheren Beobachter, die lediglich den Einfluss von Körperbewegung auf die Pulsfrequenz untersuchten, vom Gebrauch eines Sphygmographen Abstand genommen und sich einer Uhr bedient.

Da es mir bei meinen Untersuchungen nun nicht so sehr darauf ankam, eine bestimmte Reihe von Secunden, etwa 5, 10, 20 u. s. w., zu zählen, sondern ich vielmehr im Stande sein musste, in jedem Augenblicke sofort und mit Sicherheit den Stand des Sekundenzeigers ablesen zu können, so konnte ich das Secundenzifferblatt einer gewöhnlichen Taschenuhr, auf dem die Verhältnisse so äusserst klein dargestellt sind, zu meinen Versuchen, sollten sie auch nur einigermaassen Anspruch auf Genauigkeit machen, nicht gebrauchen. Dies musste ich selbst bald einsehen. Im Anfange machte ich nämlich eine Reihe von Versuchen mit solcher gewöhnlichen Uhr, musste mir aber selbst bald sagen, dass die gefundenen Resultate ungenau waren, weil ich oft nicht im Stande war, sofort nach der körperlichen Bewegung genau den Stand des Secundenzeigers abzulesen, was aber unbedingt nöthig war, da der Effect, den zumal ein kürzerer Bewegungsvorgang auf die Pulsfrequenz hervorbringt, oft sehr schnell wieder verschwindet. Ich musste mich also nach einer zu meinen Beobachtungen brauchbareren Uhr umsehen, und es gelang mir, eine solche zu bekommen. Diese Uhr war folgendermaassen eingerichtet: Es fehlte an ihr das kleine Secundenzifferblatt. Dafür aber hatte dieselbe neben dem gewöhnlichen Stunden- und Minutenzeiger noch einen dritten Zeiger, der, von gleicher Grösse wie der Minutenzeiger, die grosse Minuteneintheilung des Zifferblattes genau in einer Minute, und zwar mit sog. „springenden Secunden", ein Mal durchlief. Diese Uhr war zu meinen Versuchen sehr geeignet, und ich konnte mit ihr allen Ansprüchen auf Genauigkeit genügen, soweit es nur irgendwie möglich ist. Ich schnallte mir dann dicht über das Handgelenk des rechten Armes ein sog. Lederarmband, wie es von Soldaten und Radfahrern viel benutzt wird. Dasselbe besteht aus einem mit Schnalle versehenen Riemen, der eine Lederfassung trägt. In letztere passte die Uhr so hinein, dass ich das Zifferblatt der Uhr vollkommen übersehen konnte. So konnte im selben Momente das Auge die Uhr controliren, während die drei Finger der rechten Hand den Puls betasteten. Die meisten Versuche konnte ich nur an mir selber anstellen. Es kommt aber auch meines Erachtens für unser Thema nicht so sehr auf eine grössere Anzahl von Versuchspersonen an,

als wenn etwa z. B. der Einfluss des Alters oder des Geschlechts auf die Pulsfrequenz geprüft werden soll, wo jedes Einzelindividuum eigentlich nur einen Werth für die Untersuchungen liefern kann. Bei unserem Thema jedoch lassen die einzelnen Versuche bei ein und demselben Individuum eine fast endlose Fortsetzung zu. Sollte dann auch, bei der grossen Verschiedenheit des normalen Pulses schon im ruhenden Zustande, eine solche, gewissermaassen streng vergleichende Untersuchung wirklichen Werth haben, so hätte es auch mindestens einer grossen Anzahl Versuchspersonen bedurft, die in ihrer Gesammtconstitution wie ihrem Alter möglichst gleich gewesen wären. Das stand leider nicht in meinen Kräften, und fehlte mir ausserdem die Zeit und nöthige Hülfe dazu, solch' ausgedehnte Untersuchungen anzustellen, wie es etwa Guy[1]) that, dessen Beobachtungen allein einen Zeitraum von sechs Jahren in Anspruch nahmen.

In dieser Hinsicht geht es mir wie Nick[2]), welcher zufälliger Weise die Preisaufgabe, die von der medicinischen Facultät zu Tübingen 1826 gestellt wurde, bearbeitete. Auch er sagt, dass er darauf angewiesen sei, die Versuche fast lediglich an sich selbst anzustellen, da trotz der grossen Anzahl seiner Freunde sich nur wenige dazu verstehen konnten, ihren gewöhnlichen Lebensgewohnheiten und Vergnügen zu entsagen und sich unter das strenge Regime seiner Beobachtungen zu fügen. Genau so ging es auch mir. Indessen erklärten doch verschiedene meiner Freunde und Bekannten sich dazu bereit, mir einige Resultate zu liefern, wofür ich ihnen allen bestens danke.

Die Versuche selbst wurden am Vor- und Nachmittag angestellt. Des Abends waren dieselben mit zu grossen äusseren Schwierigkeiten verbunden. Um den beschleunigenden Einfluss der Nahrungsaufnahme auf den Puls möglichst auszuschliessen, wartete ich gewöhnlich 1 ½ Stunden nach dem Morgenkaffee und 2—3 Stunden, häufig noch länger, nach dem Mittagessen, bevor ich meine Versuche anstellte. Ausserdem hielt ich an den Versuchstagen eine möglichst gleichbleibende Diät. Diese bestand: des Morgens aus einer Tasse Kaffee mit bestrichener Semmel, des Mittags aus Suppe, Fleisch, Gemüse und Kartoffeln, wozu ich ¼ l Bier trank. An Versuchstagen suchte

1) W. A. Guy, siehe S. 353 dieser Abhandlung.

2) Nick, siehe S. 350 dieser Abhandlung.

ich vor der Anstellung der Versuche jede stärkere Bewegung zu vermeiden, sowie Alles, was auf die Herzthätigkeit von Einfluss ist. Ich zählte dann nach einer vorhergegangenen Ruhepause meinen Puls jedesmal eine volle Minute lang, genau nach der Uhr, führte unmittelbar darauf am Schluss der letzten Secunde die betreffende Bewegung aus und zählte dann abermals den Puls eine volle Minute lang sofort nach beendeter Bewegung. Dann setzte ich mich nieder zur Ruhepause und notirte die gefundenen Daten. Die Ruhepause war natürlich eine verschieden lange, entsprechend der Grösse und Anstrengung der vorhergegangenen Bewegung. Bei den kleineren genügte schon die Zeit von einer oder wenigen Minuten, während dieselbe bei grösseren, anstrengenden Bewegungen natürlich erheblich länger dauerte; bei diesen verfolgte ich desshalb den Puls oft mehr oder weniger längere Zeit hindurch, was einen Einblick auf die Erholung des Herzens gab. Ein folgender Versuch wurde erst dann angestellt, wenn das Herz wieder zur Ruhe gekommen war, also ganz oder doch nahezu wieder diejenige Pulsfrequenz vorhanden war, welche vor Anstellung des Versuches gezählt wurde. Alle näheren zum Verständnis nöthigen Angaben sind bei den Einzelversuchen vermerkt zu finden.

Es kam mir nun bei meinen Versuchen nicht so sehr darauf an, alle möglichen undefinirbaren Bewegungen maass- und ziellos auszuführen, als vielmehr den Einfluss gewisser bestimmter Bewegungen auf die Pulsfrequenz zu erforschen. Zur besseren Uebersicht theile ich dieselben in 6 Gruppen ein.

Diese umfassen:

I. Bewegungen, die mit der Aenderung der verschiedenen Körperlagen verbunden sind.
II. Gehen und Laufen.
III. Treppen- und Bergsteigen.
IV. Turnübungen.
V. Bewegungen an verschiedenen „Zander"-Apparaten.
VI. Radfahren.

I. Bewegungen, die mit der Aenderung der verschiedenen Körperlagen verbunden sind.

Diese Versuche stellte ich im Zimmer und zwar ausschliesslich an mir selber an.

Ihr Gang war folgender:

Nachdem ich vorher eine Zeit lang vollständig ruhig auf dem Stuhle gesessen hatte, nahm ich langsam diejenige Körperstellung ein, von welcher die Bewegung ausgehen sollte. Dann wartete ich, mich vollständig ruhig verhaltend, eine volle Minute und zählte in der zweiten Minute meinen Puls. Mit dem letzten Secundenschlage führte ich dann die betreffende Bewegung aus und zählte, unmittelbar nach derselben, wieder den Puls eine volle Minute, ruhig in der veränderten Lage verharrend. Dann setzte ich mich wieder langsam auf den Stuhl, notirte die gefundenen Werthe, die ich nach einiger Uebung leicht im Gedächniss halten konnte, und blieb etwa $1^1/_2$—2 Minuten sitzen, um dann, genau wie oben beschrieben, einen neuen Versuch zu beginnen. Jeder Einzelversuch nahm etwa 5—6 Minuten in Anspruch, deren ich in einer Sitzung gewöhnlich 10 anstellte, wozu ich in der Regel eine Stunde Zeit brauchte. Um den Resultaten grösseren Werth zu verleihen, stellte ich den Einzelversuch bis zu 30 Mal an. Das Mittel zog ich jedoch nur aus der jedes Mal in einer und derselben Sitzung angestellten Versuchsreihe, da ich die Zahlen einer an einem anderen Tage über dieselbe Lageveränderung angestellten Versuchsreihe nicht damit vergleichen wollte.

Der jedesmalige Lagewechsel wurde mit mässiger Geschwindigkeit ausgeführt.

Die Lageveränderungen waren folgende:

I.

Uebergang aus der verticalen, aufrechten Stellung in die horizontale Rückenlage.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
1	von $^1/_2 12^h$ a. m. ab.	77	70	6	—	7
2		71	64	7	—	7
3		73	64	10	—	9
4		72	60	6	—	12
5		70	61	6	—	9
6		68	59	6	—	9
7		71	60	6	—	11
8		70	56	6	—	14
9		70	63	5	—	7
10		70	62	6	—	8

Mittel: 9,3 Abnahme.

II.

Dieselbe Lageveränderung wie I.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
11	11 h a. m.	67	59	5	—	8
12		65	58	7	—	7
13		64	58	6	—	6
14		67	57	5	—	10
15		64	57	6	—	7
16		66	59	5	—	7
17		67	60	5	—	7
18		66	55	6	—	11
19		62	56	5	—	6
20		67	56	7	—	11

Mittel: 8,0 Abnahme.

III.

Dieselbe Lageveränderung wie bei I und II. Es ist nur 1/4, 1/2 u. 1 Minute nach der Bewegung gezählt.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz				Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher				Zunahme	Abnahme
			1/4 Min.	1/2 Min.	1 Min.			
21	1/2 10 h a. m.	67	17	32	61	5	—	6
22		65	17	31	60	6	—	5
23		63	17	32	62	5	—	1
24		66	16	31	59	5	—	7
25		62	16	31	59	6	—	3
26		66	17	31	59	6	—	7
27		62	16	29	57	6	—	5
28		68	17	31	61	6	—	7
29		64	17	31	57	6	—	7
30		64	17	31	58	5	—	6

Mittel: 5,4 Abnahme.

IV.

Von der horizontalen Rückenlage in die aufrecht stehende Stellung.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
31	1/2 10 h a. m.	62	78	6	16	—
32		60	77	8	17	—
33		60	72	6	12	—

(Fortsetzung von IV.)

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
34	1/2 10 h a. m.	59	74	6	15	—
35		60	71	7	11	—
36		58	74	7	16	—
37		57	71	6	14	—
38		54	68	5	14	—
39		55	71	6	16	—
40		52	68	7	16	—

Mittel: 14,7 Zunahme.

V.

Dieselbe Lageveränderung wie bei IV.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
41	1/2 10 a. m.	55	72	6	17	—
42		53	70	6	17	—
43		54	70	7	16	—
44		53	71	6	18	—
45		54	69	6	15	—
46		53	69	6	16	—
47		54	69	8	15	—
48		49	66	7	17	—
49		51	65	7	14	—
50		51	65	6	14	—

Mittel: 15,9 Zunahme.

VI.

Dieselbe Lageveränderung wie bei IV und V.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1/4 Min.	Pulsfrequenz nachher 1/2 Min.	Pulsfrequenz nachher 1 Min.	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
51	10 h a. m.	52	22	36	65	8	13	—
52		54	22	38	68	8	14	—
53		52	21	36	67	7	15	—
54		55	21	36	66	7	11	—
55		54	22	36	65	7	11	—
56		53	22	37	67	7	14	—
57		54	25	43	73	6	19	—
58		54	22	37	66	5	12	—
59		53	23	38	68	6	15	—
60		54	23	38	67	6	13	—

Mittel: 13,7 Zunahme.

VII.

Von der stehenden aufrechten Stellung zum Sitzen auf den Stuhl.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
61	5 h p. m.	75	67	4	—	8
62		73	65	4	—	8
63		70	68	4	—	2
64		70	66	5	—	4
65		71	67	4	—	4
66		68	62	3	—	6
67		72	65	3	—	7
68		68	65	5	—	3
69		70	62	5	—	8
70		71	63	3	—	8

Mittel: 5,8 Abnahme.

VIII.

Dieselbe Lageveränderung wie bei VII.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
71	11 h a. m.	66	63	5	—	3
72		69	61	3	—	8
73		71	59	3	—	12
74		70	62	3	—	8
75		66	62	4	—	4
76		70	61	3	—	9
77		73	62	3	—	11
78		66	60	3	—	6
79		68	61	5	—	7
80		66	61	3	—	5

Mittel: 7,8 Abnahme.

IX.

Dieselbe Lageveränderung wie bei VII und VIII.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
81	1/26 h p. m.	69	61	4	—	8
82		66	60	3	—	6
83		65	59	3	—	6
84		65	61	4	—	4
85		67	62	3	—	5

(Fortsetzung von IX.)

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
86	1/26h p. m.	66	60	4	—	6
87		67	61	3	—	6
88		65	61	4	—	4
89		69	59	3	—	10
90		63	62	3	—	1

Mittel: 5,6 Abnahme.

X.

Vom Sitzen auf dem Stuhl in die aufrechte, stehende Stellung.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
91	1/26h p. m.	70	79	3	9	—
92		68	75	2	7	—
93		66	74	3	8	—
94		65	74	3	9	—
95		63	73	3	10	—
96		62	77	3	15	-
97		61	71	4	10	—
98		62	70	3	8	—
99		62	71	3	9	—
100		62	71	3	9	—

Mittel: 9,4 Zunahme.

XI.

Dieselbe Lageveränderung wie bei X.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
101	1/210h	58	69	3	11	—
102	a. m.	60	72	3	12	—
103		62	72	2	10	—
104		61	71	3	10	—
105		61	72	3	11	-
106		63	70	3	7	—
107		59	70	3	11	—
108		60	71	3	11	—
109		59	68	3	9	—
110		59	68	4	9	—

Mittel: 10,1 Zunahme.

XII.

Dieselbe Lageveränderung wie bei X und XI.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz				Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher				Zunahme	Abnahme
			1/4 Min.	1/2 Min.	1 Min.			
111	1/2 10 h a. m.	59	20	37	69	3	10	—
112		59	21	39	73	3	14	—
113		61	21	37	71	2	10	—
114		57	20	37	69	3	12	—
115		61	20	36	68	3	7	—
116		59	18	34	67	3	8	—
117		58	20	35	67	3	9	—
118		59	19	35	68	3	9	—
119		59	20	36	68	3	9	—
120		59	19	35	68	3	9	—

Mittel: 9,7 Zunahme.

XIII.

Von der horizontalen Rückenlage durch Aufrichten des Oberkörpers in die sitzende Stellung.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
121	1/2 6 h p. m.	69	83	4	14	—
122		66	81	4	15	—
123		66	79	3	13	—
124		64	80	4	16	—
125		66	79	4	13	—
126		65	79	4	14	—
127		66	79	4	13	—
128		63	76	4	13	—
129		63	74	4	11	—
130		63	75	4	12	—

Mittel: 13,8 Zunahme.

XIV.

Dieselbe Lageveränderung wie XIII.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
131	1/2 10 h a. m.	56	66	4	10	—
132		54	66	4	12	—
133		52	66	5	14	—

(Fortsetzung von XIV.)

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
134	1/210 h a. m.	54	64	4	10	—
135		52	63	4	11	—
136		52	64	4	12	—
137		53	62	4	9	—
138		53	63	4	10	—
139		57	64	4	7	—
140		55	63	4	8	—

Mittel: 10,8 Zunahme.

XV.

Dieselbe Lageveränderung wie XIII und XIV.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1/4 Min.	Pulsfrequenz nachher 1/2 Min.	Pulsfrequenz nachher 1 Min.	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
141	1/210 h a. m.	55	20	35	65	5	10	—
142		55	21	37	67	5	12	—
143		52	21	37	69	4	17	—
144		57	20	35	66	4	9	—
145		58	22	38	69	4	11	—
146		57	20	37	69	4	12	—
147		55	21	37	68	4	13	—
148		57	21	38	69	4	12	—
149		59	21	38	71	4	12	—
150		60	20	36	68	4	8	—

Mittel: 11,6 Zunahme.

XVI.

Von der sitzenden Stellung auf der Erde, den Rücken nicht gestützt, in die aufrechte, stehende Stellung.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
151	5 h p. m.	62	71	3	9	—
152		61	69	6	8	—
153		60	69	3	9	—
154		61	69	3	8	—
155		62	69	3	7	—
156		61	68	3	7	—
157		64	73	3	9	—
158		63	69	4	6	—
159		64	71	4	7	—
160		60	71	4	11	—

Mittel: 8,1 Zunahme.

XVII.

Dieselbe Bewegung wie XVI.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
161	½10h a. m.	62	71	5	9	—
162		62	71	5	9	—
163		64	69	4	5	—
164		64	73	4	9	—
165		63	72	4	9	—
166		61	72	4	11	—
167		65	71	5	6	—
168		72	64	3	8	—
169		66	73	4	7	—
170		64	70	4	6	—

Mittel: 7,9 Zunahme.

XVIII.

Von der stehenden aufrechten Stellung zum Sitzen auf den Boden, den Rücken nicht gestützt.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
171	½5h p. m.	80	76	5	—	4
172		79	74	5	—	5
173		78	74	6	—	4
174		73	72	5	—	1
175		75	73	5	—	2
176		75	71	6	—	4
177		76	71	6	—	5
178		74	71	6	—	3
179		72	69	5	—	3
180		70	69	5	—	1

Mittel: 3,2 Abnahme.

XIX.

Dieselbe Lageveränderung wie XVIII.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
181	10h a. m.	62	64	5	2	—
182		65	64	5	—	1
183		65	63	5	—	2
184		64	63	4	—	1
185		63	63	4	0	0

(Fortsetzung von XIX.)

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
186	10h a. m.	66	63	5	—	3
187		67	60	5	—	7
188		60	62	5	2	—
189		62	60	5	—	2
190		65	62	5	—	3

Mittel: 1,5 Abnahme.

XX. (Nachtrag.)

Dieselbe Lageveränderung wie VII, VIII, IX.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1/4 Min.	Pulsfrequenz nachher 1/2 Min.	Pulsfrequenz nachher 1 Min.	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
191	1/25h p. m.	74	21	39	70	3	—	4
192		74	21	38	69	3	—	5
193		73	20	35	65	3	—	8
194		69	20	36	66	3	—	3
195		67	18	33	61	4	—	6
196		67	19	34	62	4	—	5
197		67	19	34	62	4	—	5
198		67	18	33	60	4	—	7
199		69	19	34	62	3	—	7
200		66	19	34	63	4	—	3

Mittel: 5,3 Abnahme.

XXI.

Einfluss der „Kehrtbewegung" auf den Puls.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
201	10h a. m.	66	67	3	1	—
202		66	67	3	1	—
203		65	66	3	1	—
204		65	65	3	0	0
205		63	64	3	1	—
206		64	64	3	0	0
207		61	65	3	4	—
208		65	66	3	1	—
209		59	62	3	3	—
210		59	60	3	1	—

Mittel: 1,3 Zunahme.

XXII.

Dieselbe Bewegung wie XXI.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz				Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher				Zunahme	Abnahme
			1/4 Min.	1/2 Min.	1 Min.			
211	10h a. m.	65	19	35	65	3	0	0
212		61	20	36	67	3	6	—
213		64	21	36	68	3	4	—
214		64	20	36	66	3	2	—
215		63	20	35	66	3	3	—
216		62	18	34	64	3	2	—
217		62	20	35	64	3	2	—
218		61	19	34	65	3	4	—
219		62	20	35	66	3	4	—
220		61	18	34	64	3	3	—

Mittel: **3,0** Zunahme.

Aus den angeführten Beispielen geht der Einfluss der Bewegungen, die mit den Aenderungen der Körperlage verbunden sind, auf die Pulsfrequenz deutlich hervor. Ein Vergleich der einzelnen Zahlen ergibt, dass die durch dieselbe Bewegung hervorgerufene Vermehrung der Pulsfrequenz im Mittel von je zehn Versuchen nahezu gleich ist, während jedoch bei den Einzelversuchen zuweilen grössere Schwankungen zu beobachten sind. Nur äusserst selten und nur bei sehr kleinen Bewegungen schlägt der Puls in's Gegentheil um, indem z. B. Bewegungen, von denen man eine Beschleunigung des Pulses erwarten sollte, eine Verminderung desselben hervorbringen und umgekehrt. Aus den Versuchen geht klar hervor, dass, je mehr der Körper sich der verticalen Stellung zu bewegt, um so beschleunigter der Puls wird, während er umgekehrt um so langsamer wird, je mehr der Körper sich der horizontalen Lage nähert.

II. Gehen und Laufen.

a) Was zunächst die Gehbewegungen angeht, so stellte ich die kleineren, bis zu 100 Schritten einschliesslich, in meinem Zimmer oder der Universitätsturnhalle an, und zwar genau mit derselben Methodik, die bei den vorher besprochenen Veränderungen der Körperlage gebraucht wurde. Die grösseren Vorwärtsbewegungen von 100 m an dagegen machte ich meist auf der Landstrasse zwischen

Bonn und Hersel, da es dort verhältnissmässig ruhig war und ich ziemlich ungestört meine Versuche anstellen konnte. Bei letzteren verfolgte ich entsprechend länger die durch die Bewegungen hervorgerufenen Pulsveränderungen. Alle Gehbewegungen wurden, soweit nichts Anderes vermerkt ist, im gewöhnlichen Marschschritte gemacht. Auch diese Versuche stellte ich fast ausschliesslich an mir selber an.

I.

5 Schritte vorwärts.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
221	9h a. m.	65	67	5	2	—
222		64	66	4	2	—
223		67	66	4	—	1
224		65	65	4	0	0
225		62	66	5	4	—
226		63	66	4	3	—
227		62	64	4	2	—
228		64	62	4	—	2
229		62	65	5	3	—
230		61	62	4	1	—

Mittel: 1,4 Zunahme.

II.

10 Schritte vorwärts.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
231	1/25h p. m.	60	64	8	4	—
232		61	63	7	2	—
233		64	64	7	0	0
234		62	64	7	2	—
235		61	64	7	3	—
236		60	64	7	4	—
237		61	62	8	1	—
238		59	64	7	5	—
239		60	64	8	4	—
240		60	62	8	2	—

Mittel: 2,7 Zunahme.

III.

10 Schritte vorwärts, wie II.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz				Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher				Zunahme	Abnahme
			1/4 Min.	1/2 Min.	1 Min.			
241	4h p. m.	66	20	38	70	7	4	—
242		70	22	40	72	7	2	—
243		65	21	38	71	7	6	—
244		66	21	38	69	7	3	—
245		62	21	38	68	7	6	—
246		63	20	36	66	7	3	—
247		64	21	37	68	7	4	—
248		64	20	36	66	7	2	—
249		62	20	36	67	7	5	—
250		64	21	37	67	7	3	—

Mittel: 3,8 Zunahme.

IV.

20 Schritte vorwärts.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
251	1/4 4h p. m.	72	73	12	1	—
252		68	73	12	5	—
253		67	76	12	9	—
254		68	71	12	3	—
255		66	68	12	2	—
256		65	69	12	4	—
257		63	68	12	5	—
258		65	66	12	1	—
259		64	64	12	0	0
260		62	66	12	4	—

Mittel: 3,4 Zunahme.

V.

20 Schritte vorwärts, wie IV.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz				Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher				Zunahme	Abnahme
			1/4 Min.	1/2 Min.	1 Min.			
261	5h p. m.	57	18	34	63	12	6	—
262		57	18	34	62	13	5	—
263		56	19	34	64	13	8	—

(Fortsetzung von V.)

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1/4 Min.	Pulsfrequenz nachher 1/2 Min.	Pulsfrequenz nachher 1 Min.	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
264	5 h p. m.	57	18	33	61	12	4	—
265		57	19	34	62	12	5	—
266		58	18	33	62	12	4	—
267		58	18	33	62	12	4	—
268		55	17	32	60	12	5	—
269		57	18	34	61	13	4	—
270		57	19	33	62	12	5	—

Mittel: 5,0 Zunahme.

VI.

50 Schritte vorwärts.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
271	10 1/4 h a. m.	67	69	27	2	—
272		66	67	27	1	—
273		65	65	27	0	0
274		64	65	27	1	—
275		62	66	26	4	—

Mittel: 1,6 Zunahme.

VII.

50 Schritte vorwärts, wie VI.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1/4 Min.	Pulsfrequenz nachher 1/2 Min.	Pulsfrequenz nachher 1 Min.	Versuchsdauer in Sec.	Frequenz Zunahme	Frequenz Abnahme
276	10 1/4 h a. m.	62	20	34	67	26	5	—
277		62	19	34	64	26	2	—
278		61	19	35	64	27	3	—
279		61	20	35	64	26	3	—
280		64	20	35	65	26	1	—

Mittel aus VI und VII = 2,2 Zunahme.

VIII.

100 Schritte vorwärts.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz		Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher		Zunahme	Abnahme
281	5 h p. m.	61	67	51	6	—
282		62	63	52	1	—
283		59	67	51	6	—

Versuchsnummer	Versuchszeit	Pulsfrequenz				Versuchsdauer in Sec.	Frequenz	
		vorher	nachher				Zunahme	Abnahme
			1/4 Min.	1/2 Min.	1 Min.			
284	10 1/4 h a. m.	74	21	39	75	51	1	—
285		75	20	39	71	52	—	4
286		67	20	37	70	51	3	—

Mittel: 2,16 Zunahme.

IX.

Versuche, die auf der Landstrasse angestellt wurden.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Zurückgelegte Strecke in Metern	Versuchsdauer	Pulsfrequenz						Frequenz-Zunahme
				vorher	nachher					
					1/2′	1′	2′	5′	10′	
287	5 h p. m.	100	1′12″	83	45	87	86	--	—	4
288		200	2′17″	78	43	84	79	82	—	6
289		300	3′31″	72	39	74	70	72	—	2
290		500	5′45″	70	41	79	72	71	—	9
291		1000	11′20″	76	48	90	86	83	—	14
292		1000	8′50″	78	—	94	88	50	—	16
293	1/4 12h a. m.	3300	34′	62	41	76	3′ 70	56	57	14

Nach einem Marsch von 5 Kilometer, den ich mit einem Freunde zurücklegte, fanden wir:

					1′	2′	5′	10′	15′	
Verfasser:										
294	7 1/4 h p. m.	5000	55′00″	67	74	70	65	68	66	7
cand. med. H. F.:										
295	7 1/4 h p. m.	5000	55′00″	62	68	68	68	62	62	6

Wie aus den angestellten Beobachtungen hervorgeht, wird das Herz beim gewöhnlichen mässig schnellen Gehen nur wenig in An-

spruch genommen, selbst wenn eine grössere Strecke zurückgelegt wird. Dies bestätigt die tägliche Erfahrung.

b) Die Laufbewegungen bestanden in Dauer- und Schnelllauf. Ersteren stellte ich in der Universitätsturnhalle an; bei letzterem wurde auf ebener Landstrasse eine Strecke von 150 m mit grösster uns zu Gebote stehender Geschwindigkeit durchlaufen. Zwei meiner Bekannten lieferten mir Controlversuche.

X.

Dauerlaufversuche an mir selbst und K. H., cand. med. dent., angestellt, welch Letzterer ein gut trainirter Turner ist.

Versuchs-nummer	Ver-suchs-Person	Ver-suchszeit	Ver-suchs-dauer	Pulsfrequenz					Zu-nahme
				vor-her	nachher nach:				
					1′	3′	5′ sitzend	10′	
296	Verfasser	5h p. m.	1′	60	77	58	53	—	17
297	K. H.	12¼h „	1′	70	94	69	60	—	24
					War etwas zu schnell gelaufen.				
298	Verfasser	5h „	3′	63	83	69	60	—	20
							6′		
299	K. H.	12¼h „	3′	69	87	85	58	—	18
300	Verfasser	5h „	5′	67	98	87	71	66	31
301	K. H.	12¼h „	5′	68	83	77	60	—	15
302	Verfasser	5h „	10′	69	116	99	83	74	47
303	K. H.	12¼ „	10′	70	104	93	65	—	34

XI.

Schnelllaufversuche auf der Landstrasse über eine Strecke von 150 Meter, an mir selbst und meinem Freunde B. St., cand. geod., angestellt.

Versuchs-nummer	Ver-suchs-person	Ver-suchs-zeit	Durch-laufene Strecke in m	Ver-suchs-dauer in Sec.	Pulsfrequenz					Zunahme
					vor-her	nachher				
						4′	7′	9′	14′	
304	Verfasser	2h p. m. vor dem Mittagessen	150	21	71	144	104	95	90	73
						Der Puls war so klein, dass ich denselben erst 4 Sec. nach beendetem Laufe zählen konnte				
						1′	3′	5′	10′	
305	B. St. cand. geod.	„	150	24	72	133	92	85	77	61
						Dessen Puls konnte ich gleich deutlich fühlen. Er war sicher nicht so hoch als meiner, zumal da ich den Weg in 3 Sec. eher zurücklegte				

Wie man aus den angeführten Tabellen ersieht, übt das Laufen einen viel stärkeren Einfluss auf die Herzthätigkeit aus als das Gehen. Die Einwirkung eines nur wenige Secunden dauernden Schnelllaufes auf die Frequenz der Herzcontractionen ist eine viel grössere als die eines selbst 10 Minuten langen Dauerlaufes. Nach dem Schnelllauf von 150 m, in 21 Secunden zurückgelegt, stieg mein Puls über das Doppelte, nämlich von 71 auf 144, derjenige meines Freundes, der 24 Secunden brauchte, von 72 auf 133. Der Pulsanstieg war in Wirklichkeit bei mir wohl noch bedeutend grösser, denn mein Puls war sofort nach beendeter Bewegung so klein, dass ich denselben 4 Secunden lang nicht fühlen konnte, und noch dann hatte er oben genannte Frequenz. Wir waren zwar keine besttrainirten Schnellläufer, verfügten aber beide über eine mässige körperliche Gewandtheit.

III. Treppen- und Bergsteigen.

a) Die Versuche über das Treppensteigen stellte ich in einem der kleineren Thürme der hiesigen Münster-Kirche an, wozu Herr Kaplan Schmitz mir bereitwilligst die Erlaubniss ertheilte. In diesem Thurme läuft von der ebenen Erde bis zur Höhe des Daches eine steinerne Wendeltreppe von 101 Stufen ununterbrochen hinauf. Der einzelne Stufenabstand beträgt genau 18 cm. Im Ganzen ist die Höhe der Treppe 18,18 m. Ich stieg nun abwechselnd theils im gewöhnlichen Tempo, theils schneller, 30, 60 und 90 Stufen hinauf, nachdem ich vorher sitzend meinen Puls gezählt hatte. Nach beendeter Bewegung nahm ich gleichfalls sofort die sitzende Stellung ein, um die erhöhte Frequenz zu bestimmen. Selbstverständlich liess ich zwischen den einzelnen Steigungen eine genügend lange Zeit verstreichen, bevor ich einen neuen Versuch anstellte. Ich machte die Beobachtung an meinem eignen Pulse.

I.

Das Ersteigen von 30 Stufen.

Versuchs-nummer	Versuchs-zeit	Stiegen-zahl	Ver-suchs-dauer	Pulsfrequenz				Zu-nahme
				vorher	nachher			
					1 Min.	2 Min.	5 Min.	
306	1/26 h p. m.	30	33 Sec.	74	87	70	66	13
307		30	25 „	67	86	65	62	19
308		30	25 „	63	90	71	65	27
309		30	26 „	66	82	65	62	16
310		30	26 „	65	85	66	64	20

II.

Das Ersteigen von 30 und 60 Stufen wie I, nur ist der Puls jedes Mal nach 15, 30 und 60 Secunden der 1., 3. und 5. Minute angegeben.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Stiegenzahl	Versuchsdauer in Sec.	Pulsfrequenz										Zunahme
				vorher	nachher									
					1 Min.			3 Min.			5 Min.			
					15″	30″	60″	15″	30″	60″	15″	30″	60″	
311	5 1/2 h p. m.	30	20	62	28	49	86	15	30	60	15	29	58	24
312	„	30	21	62	26	49	85	16	30	59	16	31	62	23
313	„	60	24 schnell gestiegen	66	30	59	110	18	34	66	17	32	62	44
314	5 h p. m.	60	41	66	31	58	100	17	31	63	18	33	64	34
315	„	60	37	67	31	60	100	16	31	60	17	32	64	33
316	„	60	39	64	30	58	98	16	30	60	16	31	60	34
317	„	60	40	64	29	59	99	16	30	58	16	30	60	35

III.

Ersteigen von 60 Stufen.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Stiegenzahl	Versuchsdauer in Sec.	Pulsfrequenz						Zunahme
				vorher	nachher					
					1′	2′	5′	7′	10′	
318	11 1/4 h a. m.	60	44	62	91	61	60	58	61	29
319	„	60	51	61	87	60	59	60	62	26
320	„	60	45	60	86	60	58	60	—	26
321	„	60	44	60	88	61	56	60	61	28
322	„	60	23 schnell gestiegen	61	103	80	56	58	62	42

IV.

Ersteigen von 90 Stufen.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Stiegenzahl	Versuchsdauer in Sec.	Pulsfrequenz							Zunahme
				vorher	nachher						
					1′	2′	3′	5′	7′	10′	
323	1/2 11 h a. m.	90	60	66	103	70	63	62	63	63	37
324	„	90	53	64	106	74	63	61	62	63	42
325	„	90	57	67	108	—	58	58	61	62	41
326	„	90	54	68	105	—	59	58	58	67	37
327	„	90	31 schnell gestiegen	65	118	—	75	66	64	65	53
328	„	90	29 schnell gestiegen	67	124	—	76	65	67	66	57

V.

Hieran schliesse ich einige Versuche über „Steigen auf einen Stuhl."

Versuchsnummer	Versuchszeit	Versuchsdauer in Sec.	Pulsfrequenz		Frequenz	
			vorher	nachher	Zunahme	Abnahme
329	5h p. m.	4	63	67	4	—
330		3	64	67	3	—
331		4	64	67	3	—
332		3	61	67	6	—
333		5	65	68	3	—
334		4	62	65	3	—
335		3	63	68	5	—
336		3	63	65	2	—
337		3	61	65	4	—
338		3	61	68	7	—

Mittel: 4,0 Zunahme.

VI.

Dieselbe Bewegung wie V.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Versuchsdauer in Sec.	Pulsfrequenz				Frequenz	
			vorher	nachher			Zunahme	Abnahme
				1/4 Min.	1/2 Min.	1 Min.		
339	5h p. m.	3	65	23	39	71	6	—
340		3	67	21	37	67	0	0
341		3	64	20	36	66	2	—
342		3	64	21	37	69	5	—
343		3	62	21	37	67	5	—
344		3	64	20	36	67	3	—
345		3	64	21	36	67	3	—
346		3	63	20	36	66	3	—
347		3	63	21	37	67	4	—
348		3	64	21	37	69	5	—

Mittel: 3,6 Zunahme.

b) Was das Bergsteigen angeht, so benutzten wir hierzu einen kleinen Hügelabhang hinter Ippendorf. Derselbe hatte eine relative Höhe von 14 m und die fast gleichmässig bleibende starke Steigung von 31 % bei einer Wegelänge von 47 m in der geneigten Ebene. Diesen erstieg ich mit meinem Freunde B. St., der auch den Schnelllauf mitmachte, abwechselnd im gewöhnlichen Schritt, im Sturmschritt und im Sturmlauf.

I.

Ersteigen eines 14 m hohen Bergabhanges im gewöhnlichen Schritt.

Versuchsnummer	Versuchsperson	Versuchszeit	Versuchsdauer	Höhe des Abhanges	Pulsfrequenz				Zunahme
					vorher	nachher			
						1 Min.	3 Min.	5 Min. liegend	
349	Verf.	1/2 11 h	49 Sec.	14 m	65	106	60	62	41
350	B. St.	a. m.	57 „	14 „	74	103	76	74	29

II.

Ersteigen eines 14 m hohen Bergabhanges im Sturmschritt.

Versuchsnummer	Versuchsperson	Versuchszeit	Versuchsdauer	Höhe des Abhanges	Pulsfrequenz				Zunahme
					vorher	nachher			
						1 Min.	3 Min.	5 Min. liegend	
351	Verf.	11 h	28 Sec.	14 m	70	120	73	66	50
352	B. St.	a. m.	30 „	14 „	74	132	91	78	58

III.

Ersteigen eines 14 m hohen Bergabhanges im Sturmlauf.

Versuchsnummer	Versuchsperson	Versuchszeit	Versuchsdauer	Höhe des Abhanges	Pulsfrequenz					Zunahme
					vorher	nachher				
						1′	3′	5′	10′	
353	Verf.	1/4 12 h	14 Sec.	14 m	79	151	97	89	—	72
354	B. St.	a. m.	15 „	14 „	76	140	95	97	87	64

Wie aus den angestellten Beobachtungen deutlich hervorgeht, hat das Treppen- und Bergsteigen einen sehr starken Einfluss auf das Herz; geradeso wie beim Schnelllauf vermehren beide die Zahl der Herzcontractionen besonders erheblich, wenn die Bewegungsgeschwindigkeit eine grosse wird. Treppen- bez. Bergsteigen und Gehen, beides „mässig“ langsam ausgeführt, sind in ihrer Einwirkung auf die Pulsfrequenz jedoch insofern verschieden, als erstere dann schon die Pulszahl bedeutend erhöhen, während letzteres die Schlagfolge des Herzens nur in sehr geringem Maasse beeinflusst.

IV. Turnübungen.

Um den Einfluss verschiedener turnerischer Leistungen auf den Puls zu prüfen, stellte ich an mir selbt, sowie an einer Reihe Freunde und Bekannte, die zum Theil turnerisch sehr gewandt waren, eine Anzahl Versuche an. Dieselben wurden an verschiedenen Apparaten der Universitätsturnhalle ausgeführt, welche mir vom Curatorium während der Ferienzeit bereitwilligst zu meinem Zwecke zur Verfügung gestellt wurde. So konnte ich ungestört meinen Beobachtungen obliegen. Den Einfluss aller möglichen Turngeräthe auf den Puls konnte ich unmöglich untersuchen. Das hielt ich auch nicht für nöthig; ich begnügte mich mit einer Reihe von Apparaten, die ich für meine Untersuchungen am zweckmässigsten hielt. Ich beginne sogleich mit den Uebungen selbst.

Verschiedene turnerische Leistungen.

I.

Felgaufschwung.

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Art des Versuches	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1′	3′	5′ sitzend	Zunahme	Bemerkungen
355	Verf.	Felgaufschwung am Reck	67	88	68	65	11	Mässig geübt.
356	H. E., cand. geod.	„	71	76	72	68	5	Turnerisch sehr gewandt und trainirt.
357	F. L., stud. jur.	„	72	84	69	72	12	Guter Turner.
358	K.H., c. med. dent.	„	58	69	56	52	11	Sehr gut. Turner.

II.

Fünf Klimmzüge bis Kinnhöhe.

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Art des Versuches	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1′	3′	5′ sitzend	Zunahme	Bemerkungen
359	Verf.	5 Klimmzüge	62	88	71	65	26	Zieml. ermüdet.
360	H. E., cand. geod.	„	68	82	—	75	14	Fast gar nicht ermüdet.
361	F. L., stud. jur.	„	68	101	76	—	33	—
362	K.H., c. med. dent.	„	56	65	—	54	9	Nicht ermüdet.
363	H. H., cand. phil.	„	53	95	77	69	42	Ungeübt u. vollständ. ermüdet.

III.

10maliges Stemmen einer 50 Pfund-Hantel.

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Art des Versuches	Pulsfrequenz vorher	nachher 1′	3′	5′	Zunahme	Bemerkungen
364	Verf.	Stemmen einer 50 Pfd. schweren Hantel 10 Mal	68	83	68	62	15	Nicht ermüdet.
365	H. E., cand. geod.	„	68	82	76	?	14	„
366	K. H., c. med. dent.	„	53	77	60	58	24	„
367	H. H., cand. phil.	„	71	82	?	70	11	Wenig ermüdet.

Zum Schlusse dieses Capitels möchte ich noch eine Reihe verschiedener Uebungen anführen, die zum Theil eine grössere Anstrengung des Herzens erfordern.

IV.

Verschiedene Uebungen:

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Versuchsart	Pulsfrequenz vorher	nachher 1′	3′	5′	Zunahme
368	Verfasser	Umschlag am Barren in gebeugten Armen	67	96	71	62	29
369	„	Hinaufklettern an der feststehenden, 3½ m hohen Eisenstange	66	87	74	63	21
370	H. H., cand. phil.	„	74	103	78	70	29
371	L. F., stud. jur.	Hinaufklettern an zwei Tauen mit gebeugten Armen 2½ m hoch	74	112	75	?	38
372	K. H., cand. med. dent.	„	57	81	59	53	24
373	„	9 m weit auf den Händen gelaufen	56	80	53	51	24
374	H. E., cand. geod.	Dito 10 m	74	95	80	74	21

Zuletzt stellte ich an meinem Bekannten K. H., einem sehr gewandten Turner, noch zwei interessante Versuche an. Ich liess denselben am Reck zwei ganz verschiedene Bewegungen ausführen. Es waren dies: Klimmzüge und fortgesetzter Aufschwung. Beide

Uebungen wurden bis zur Grenze der Leistungsfähigkeit, also bis zur grössten Ermüdung fortgesetzt, und ich prüfte dann deren Einfluss auf den Puls, wobei ich ein recht interessantes Resultat erhielt, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht.

V.

Bis zur vollständigsten Ermüdung fortgesetzte Klimm- und Aufzüge.

Versuchsnummer	Versuchsperson	Versuchsart	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1′	3′	5′	Frequenz-Zunahme
375	K. H., cand. med. dent.	Klimmzüge mit Untergriff, 13 Stück	66	114	96	77	48
376	"	Fortgesetzter Aufschwung	74	137	83	78	63

Wie aus den angestellten Beobachtungen zur Genüge hervorgeht, haben gerade die turnerischen Uebungen einen grossen Einfluss auf die Zahl der Herzcontractionen. Schon kleine Leistungen, wie z. B. der Felgaufschwung, beschleunigen den Puls leicht um 10 oder 15 Schläge schon beim guten Turner; bei weniger Geübten ist diese Zahl noch bedeutend höher. Die Pulszahl wird jedoch besonders bei grösseren Leistungen sehr rapide in die Höhe getrieben. Eine maximale Leistung von Klimmzügen mit Untergriff — was bedeutend leichter ist als mit Aufgriff, da beim Untergriff der mächtige Biceps sich vollständig contrahiren kann und so leichter den Körper in die Höhe zieht als beim Aufgriff, wo derselbe nur zum geringen Theile wirken kann und der Brachioradialis seu supinator longus an seine Stelle tritt — bis zur vollständigsten Ermüdung ausgeführt, steigerte den Puls bei Weitem nicht so sehr wie ein bis zur vollständigen Ermüdung fortgesetzter Aufschwung. Dies ist um so sonderbarer, als nach den angestellten Klimmzügen das subjective Ermüdungsgefühl erst viel später weicht als nach den fortgesetzten Aufschwüngen. Der Grund dieser sonderbaren Verhältnisse ist wohl in erster Linie in den betheiligten resp. nicht betheiligten Muskelgruppen zu suchen. Während bei den Klimmzügen fast ausschliesslich Armmuskulatur in Betracht kommt, ist beim jedesmaligen Aufschwung fast die ganze Körpermuskulatur, wenn auch nur für kurze Zeit und in geringem Maasse, in Anspruch genommen. Hierin wird wohl der

Hauptgrund dieser so eclatanten Pulsdifferenz zu suchen sein, die in einem Falle nur 48, während sie im anderen Falle 63 Schläge betrug.

V. Bewegungen an verschiedenen „Zander"-Apparaten.

Zu diesen Untersuchungen stellte mir Herr Dr. Liniger die Apparate des hiesigen, von ihm geleiteten medico-mechanischen Zander-Instituts bereitwilligst zur Verfügung. Die Zander'schen Apparate bestehen im Wesentlichen aus zwei Gruppen:

1. Apparate für active Bewegungen, d. h. solche, die der Bewegungsnehmer durch seine eigene Muskelkraft in Bewegung setzt.
2. Apparate für passive Bewegungen, d. h. solche, die ohne Hülfe der Muskeln die Glieder des Körpers bewegen, um deren Kapseln, Sehnenbänder und Muskeln zu dehnen und zu erweichen.

Es gibt für die einzelnen Apparate mit Zahlen versehene Buchstaben, womit dieselben bezeichnet werden. Da dieselben jedoch wohl nicht allgemein bekannt sind, so will ich dieselben hier fortlassen und die Einrichtungen der Apparate selbst kurz skizziren, so gut es mir möglich ist. Den Einfluss sämmtlicher Zander-Apparate, die sich im Institut befanden, auf den Puls zu erforschen, wäre zu weitläufig und zum grossen Theil zwecklos gewesen, da eine grosse Anzahl derselben gar nicht oder doch nur äusserst gering auf das Herz einwirkt. Ich suchte mir vier Apparate aus, die für meinen Zweck am tauglichsten schienen; zwei für Bewegung der oberen Extremitäten und einen für die Bewegung der unteren Extremitäten, während der vierte dazu diente, den Körper in passive Bewegung zu versetzen.

An dem ersten Apparat wurden Klimmzüge ausgeführt, allerdings nicht wie am Reck in der Turnhalle, sondern die Kraftleistung war hier eine sehr viel geringere. Ueber zwei Rollen lief je eine Schnur, an deren einem Ende sich zwei Griffe zu Handhabe befanden, während das andere an einem Hebelarm fasste, der ein leicht verstellbares Gewicht trug zur Moderirung der Arbeitsleistung. Zieht man nun an der hochhängenden Handhabe, wobei nach Vorschrift tief inspirirt werden soll, so hebt man den Hebelarm mit dem daran befindlichen Gewicht in die Höhe. Der zweite Apparat dient zum sogenannten Armrollen. Zwei starke, im spitzen Winkel zu einander stehende Holzstäbe sind durch ein Charnier gelenkig verbunden. Am freien Ende ist wiederum als Beschwerer ein Gewicht in Form einer Metallkugel angebracht. Man legt nun

seinen Arm so auf den nicht belasteten Stab, dass man ihn mit der Hand gut fassen kann, und beschreibt dann damit den Mantel eines spitzen Kegels, wobei man natürlich den Widerstand des Gewichtes zu überwinden hat. Der Apparat zur Bewegung der unteren Extremität war ein einfaches stehendes Velociped mit sehr bequemem Sitz.

Am letzten Apparat konnte ich den Einfluss passiver Bewegungen beobachten. Er diente zur Erschütterung im Reitsitz. Ein durch den Motor in Bewegung gesetzter Pferdesattel, der dieselben Erschütterungen hervorrief, wie sie durch das Traben erzeugt werden.

Einige Unfallpatienten standen mir im Institute zu meinen Untersuchungen zur Verfügung. Von Herzkranken sah ich natürlich bei meinen Beobachtungen ab. Ich konnte aber auch den herzgesunden Leuten stärkere Bewegungen, wie ich sie selbst gut leisten konnte, nicht zumuthen, zumal sie meist an den Folgen schwerer Fracturen litten. Die Einwirkungen auf den Puls waren in Folge dessen vielfach äusserst gering, und ich bin desshalb nicht so ausführlich bei diesen Versuchen verfahren.

I.

20 Klimmzüge.

Versuchsnummer	Versuchsperson	Versuchszeit	Art des Versuches	Pulsfrequenz vorher	nachher 1′	nachher 3′	nachher 5′ sitzend	Zunahme
377	Verfasser	8h a. m.	20 Klimmzüge	79	92	80	76	13
378	H. B., Lumbago, 40 J.	8h a. m.	„	86	97	87	82	11
379	A. Sch., 58 J., Quetschung d. Fusses	11h a. m.	„	61	71	62	61	10
380	Fr. E., 18 J., Fract. colli femor.	11h a. m.	„	72	81	74	71	9

II.

3 Minuten Armrollen, mässig schnell.

Versuchsnummer	Versuchsperson	Versuchszeit	Art des Versuches	Pulsfrequenz vorher	nachher 1′	nachher 3′	nachher 5′	Zunahme
381	Verfasser	8h a. m.	Armrollen 3′ mässig schnell	61	72	64	60	11
382	P. E., 44 J., Fract. hum.	8h a. m.	„	67	76	73	69	9
383	M. W., 32 J., Fract. hum. sinistr.	8h a. m.	„	69	77	69	70	8

III.

1 Minute Armrollen, so schnell als möglich.

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Versuchs-zeit	Versuchsart	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1′	3′	5′	Zunahme
384	Verfasser	8h a. m.	Armrollen, so schnell als möglich, 1′ lang	58	100	77	72	42
385	E. P., 44 J., Fract. hum.	„	„	53	99	75	70	44
386	M. W., 32 J., Fract. hum. sinistr.	„	„	70	86	77	69	16
					rollte zu langsam			

IV.

Velocipedtreten. 10 Minuten lang mässig schnell.

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Versuchs-zeit	Versuchsart	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1′	3′	5′	Zunahme
387	Verfasser	12h a. m.	10 Minuten mässig schnell treten	64	68	64	63	4
388	P. E., 44 J., Fract. hum.	8h a. m.	„	66	79	72	71	13
389	F. K., 47 J.	„	„	74	84	80	78	10

V.

3 Minuten Velocipedtreten, so schnell als möglich.

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Versuchs-zeit	Versuchsart	Pulsfrequenz vorher	Pulsfrequenz nachher 1′	3′	5′	Zunahme
390	Verfasser	12h a. m.	3 Minuten so schnell als möglich treten	69	100	72	71	31
391	P. E., 44 J., Fract. hum.	8h a. m.	„	68	97	70	71	29
392	F. K., 47 J.	„	„	72	142	108	104	70

VI.

Schnellstes Trabreiten. 5 Minuten lang.

Versuchs-nummer	Versuchs-person	Versuchs-zeit	Versuchsart	Pulsfrequenz				Zunahme
				vorher	nachher			
					1′	3′	5′	
393	Verfasser	12h a. m.	Schnellstes Traben 5 Minuten lang	70	98	92	85	28
394	P. E., 44 J.	8h a. m.	„	74	114	91	87	40
395	W. Sch.	„	„	66	86	80	79	20

Auch bei diesen Versuchen bestätigte sich, wie aus der Tabelle hervorgeht, immer der Grundsatz, dass eine kurz andauernde, aber heftig ausgeführte Bewegung von weit grösserem Einfluss auf die Pulszahl ist als eine selbst lang andauernde mässig schnelle Körperbewegung.

VI. Radfahren.

Die Literatur über das Radfahren ist reichlich. Ich beschränke mich darauf, mich streng an mein Thema haltend, durch eine Reihe von Versuchen den Einfluss desselben auf die Frequenz der Herzcontractionen zu zeigen. Im Uebrigen gelten bezüglich der Einwirkung des Radfahrens auf die Steigerung der Pulsfrequenz im Allgemeinen dieselben Regeln, wie sie für andere stärkere Körperbewegungen in Betracht kommen.

Radfahr-Versuche, auf der Landstrasse angestellt.

Versuchsnummer	Versuchszeit	Zurückgelegte Strecke in km	Versuchsdauer	Pulsfrequenz				Zunahme
				vorher	nachher			
					1′	3′	5′	
396	4h p. m.	0,5	2 Min.	75	80	77	74	5
397	4h p. m.	1	4 „ 7 Sec.	83	90	80	81	7
398	4h p. m.	2,1	8 „ 2 „	80	82	82	79	2
399	4h p. m.	3	13 „	78	88	84	80	10
400	5h p. m.	7,5	37 „	80	91	89	84	11

Nach einer Tour von 5 km, mit einem Bekannten angestellt, fanden wir:

Versuchsnummer	Versuchsperson	Zurückgelegte Strecke in km	Versuchsdauer	Pulsfrequenz vorher	nachher 1′	3′	5′	15′	Zunahme
401	Verfasser	5	24 Min.	73	109	92	96	—	36
402	H. L., cand. med.	5	24 „	93	114	101	105	—	21

Nach einer Tour von 20 km, mit einem Manne von 38 Jahren angestellt, fanden wir:

Versuchsnummer	Versuchsperson	Zurückgelegte Strecke in km	Versuchsdauer	Pulsfrequenz vorher	nachher 1′	3′	5′	15′	Zunahme
403	Verfasser	20	1 St. 42 Min.	86	119	120	119	90	33
404	H. K., 38 J.	20	1 „ 42 „	75	97	95	92	78	22

Aus den an einer mehr oder minder grossen Anzahl gesunder Personen praktisch angestellten Untersuchungen geht der Einfluss körperlicher Bewegungen auf die Pulsfrequenz deutlich hervor. Es kommt dabei weniger auf die Dauer des Bewegungsvorganges an, als vielmehr auf die Schnelligkeit, mit der die betreffende Bewegung ausgeführt wird. So steigert eine mässige, selbst längere Zeit fortgesetzte Bewegung die Frequenz der Herzcontractionen in viel geringerem Maasse als kurzdauernde, aber mit grosser Schnelligkeit ausgeführte Bewegungen, die zuweilen die Pulsfrequenz um das Doppelte und noch darüber hinaus vermehren. Wenn nun auch der Herzapparat sich in einem äusserst labilen Zustande befindet und seine Reaction auf die verschiedensten Bewegungsvorgänge eine so feine und gewaltige ist, so tritt doch beim Gesunden, wie aus den Untersuchungen hervorgeht, bald nach vollendeter Bewegung wieder eine vollständige Erholung ein. Dass dies jedoch bei Menschen, deren Circulationsapparat nicht mehr intact ist, oft nicht der Fall ist, lehrt die tägliche Erfahrung, indem bei ihnen ein heftiger Bewegungsvorgang oft irreparable Störungen zurücklässt, ja, nicht selten einen tödtlichen Ausgang herbeiführt.

Zum Schlusse dieser Arbeit erübrigt mir noch die angenehme Pflicht, allen meinen Freunden und Bekannten, die sich mir bereitwilligst zur Anstellung der verschiedensten Versuche zur Verfügung stellten, bestens zu danken. Ganz besonders aber möchte ich an dieser Stelle meinem verehrten Lehrer, Herrn Geheimrath Prof. Dr. Binz, der mich bei der Anfertigung dieser Arbeit in liebenswürdiger Weise durch seinen Rath unterstützte, meinen aufrichtigsten Dank aussprechen.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Wien.)

Das anatomische Verhalten der Muscularis mucosae in Beziehung zu ihrer physiologischen Bedeutung.

Von

stud. med. **Bianca Bienenfeld.**

In seiner Arbeit „Wie schützt sich der Verdauungstract vor Verletzungen durch spitze Fremdkörper" hat Dr. Alf. Exner (1) Versuche mitgetheilt, in denen er die interessante Thatsache nachwies, dass die Muscularis mucosae des Darmcanals (wahrscheinlich nebst anderen, auch) die Aufgabe hat, das Eindringen von Fremdkörpern in die Darmschleimhaut zu hindern. Es scheint fürwahr sehr merkwürdig, dass so oft spitze Gegenstände den Verdauungstract passiren, ohne Verletzungen zu verursachen, bietet doch die tägliche Nahrung, das Verschlucken von Knochen und Gräten, den Raubthieren und Raubvögeln wiederholt die Möglichkeit einer Verletzung. In den Mägen körnerfressender Vögel findet man bei Sectionen oft spitze Fremdkörper, ja, Landois berichtet in seiner Physiologie, dass er Glaskugeln in Splitter zerbrochen fand. Wie A. Exner durch Versuche an lebenden Thieren gezeigt hat, contrahirt sich die durch eine Nadelspitze gereizte Muskulatur der Schleimhaut derart, dass die gereizte Stelle anämisch wird, eine Delle bildet und dem Druck der Spitze ausweicht. Magen und Darm der Thiere pflegen Stecknadeln, die mit dem spitzen Ende voraus eingeführt wurden, umzudrehen, so dass die Nadeln mit dem stumpfen Ende voraus, also ohne schädigende Wirkung, durch den Verdauungstract wandern. Somit besitzt die Darmschleimhaut thatsächlich in ihrer Muskelschicht, die sich vom Oesophagus durch den Magen und den ganzen Darmcanal erstreckt, eine vorzügliche Schutzvorrichtung gegen Verletzungen. Bevor ich auf meine Untersuchungen eingehe, sei es mir gestattet, Einiges über die Entwicklung der Kenntniss dieser Muskelschicht anzuführen. Die erste Mittheilung einer Muskelschicht in der

Schleimhaut des Duodenums machte 1846 A. Th. Middeldorpf (2) in seiner „Disquisitio de glandulis Brunnianis Vratislaviae". Seine Entdeckung ging aber wieder verloren, und das Verdienst, sie neu aufgefunden zu haben, gebührt Brücke. Es war zwar schon vor ihm dem Franzosen Lacauchie (3) bekannt gewesen, dass die Zotten sich nach dem Tode zusammenziehen. Er hatte aber keine Kenntniss von der Muskulatur, die sich in den Zotten befindet, und schreibt die Contractilität der Darmzotten den Blutgefässen zu. Was Lacauchie am todten Darm bemerkt hatte, sahen Gruby und Delafond (4) an dem des lebenden Thieres. Sie bemerkten eine Bewegung der Darmzotten nach drei Richtungen und sahen die Ursache der Bewegung in den Contractionen des sogen. contractilen Bindegewebes. Erst Brücke (5) veröffentlichte 1851 in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie der Wissenschaften die Ergebnisse seiner Untersuchungen, dahin gehend, dass ein bisher völlig unbekanntes Muskelsystem, aus organischen Muskelfasern bestehend, im Oesophagus, vom Epithel durch eine dünne Bindegewebsschicht getrennt, beginnt und sich durch Dünn- und Dickdarm verfolgen lässt. Er unterschied im Magen und Darm eine äussere, aus Längsfasern, und eine innere, aus Ringfasern bestehende Schicht. Von dieser ziehen Muskelfasern gegen die Oberfläche der Schleimhaut und bilden in den Zotten ein System von Längsfasern, das bis in das äusserste Ende der Zotten hineinreicht. Brücke hat auch Messungen der Dicke dieser „inneren Muskelhaut" vorgenommen und sie im Magen 50—100 μ, im Dünndarm höchstens 38 μ, im Colon nur 29 μ, im Rectum 50 μ und am Anus 200 μ breit gefunden. Unabhängig von Brücke entdeckte Kölliker (6) 1851 bei Untersuchung des Oesophagus, dass sich in dessen Schleimhaut ein grosser Reichthum an glatten Muskelfasern finde und sich dieser Zug von Muskulatur bis in den Magen erstrecke. In der Schleimhaut des Dünn- und Dickdarms sah er keine glatte Muskulatur, ebenso anfangs keine in den Zotten. 1867 aber fand auch er in den Zotten um die Lymphgefässe herum eine dünne Lage von längsverlaufenden Muskeln, die mit der Muscularis mucosae in Verbindung stehen. Während Middeldorpf die Schichte glatter Muskulatur Stratum submucosum, Brücke sie innere Muskelhaut nannte, gab ihr Henle (7) in seinem Handbuch der Eingeweidelehre des Menschen 1873 den Namen Muskelschicht der Schleimhaut = Muscularis mucosae. Auch er maass diese Schicht und fand sie im Oesophagus 0,02 bis

0,07 mm, im Magen 0,05—0,07 mm, im Dünndarm 0,02 mm. Er sah deutlich, dass sich aus der Muskellage der Schleimhaut die Muskellage der Zotten in Form feinster Bündel erhebe, die parallel zu einander von der Basis zur Spitze ziehen. Die Endigung der Muskelzellen erfolgt derart, dass, wie Heidenhain (8) es schildert, aus dem Bindegewebe der Muskeln feinste Fäden austreten, die mit der Spitze und Peripherie der Zotten in Verbindung stehen und, ähnlich den Sehnen, bei Contraction der Muskelbündel eine Formveränderung der Zottenoberfläche bedingen.

Somit stellt die Muscularis mucosae eine nahezu continuirliche Schicht dar, welche nach den Untersuchungen von Schaffer (9) im Oesophagus als Fortsetzung der elastischen Grenzschicht des Schlundkopfes beginnt und sich durch Magen und Darm verfolgen lässt. Sie besteht beim Menschen und den meisten Thieren aus einer inneren, ringförmig- und einer äusseren, längsverlaufenden Schicht; öfters tritt auch eine Dreitheilung der Schichten ein. So habe ich besonders schön im Magen und Darm der Katze drei deutlich von einander geschiedene Schichten erkennen können, eine innere und äussere längs- und eine mittlere ringförmig verlaufende Schicht.

Die Muscularis mucosae wird im Dünndarm durchbrochen von den Ausführungsgängen der Glandulae duodenales Brunneri. Es schien in meinen Präparaten, als ob stellenweise das ganze Convolut der Drüsen derart in die Schleimhaut eingelagert sei, dass dadurch die Muscularis eine völlige Unterbrechung erleide. Untersuchungen von Lipsky (10) haben ergeben, dass die Muscularis an diesen Stellen nur verdünnt erscheint, und dass die einzelnen Muskelfasern zwischen die Drüsenläppchen eindringen.

Eine weitere, ausgedehntere Durchbrechung erleidet die Muscularis durch die solitären Lymphknötchen und die Peyer'schen Plaques. Diese entstehen in der Tunica propria und wachsen in die Submucosa hinab, wobei sie die Muscularis durchbrechen.

Dass die Muskelschicht eine Unterbrechung zeigt an den Stellen, an denen Arterien, Venen und Lymphgefässe durchtreten, ist selbstverständlich. Bemerkenswerth ist die von Mall (11) beschriebene Thatsache, dass die Muscularis im Gebiete ihrer ringförmig verlaufenden Schicht um die Durchtrittsstelle der Venen eine Art Sphinkter bildet, der aus drei Muskelfasern besteht. Injectionsversuche haben ergeben, dass sich dieses Sphinkter contrahirte und das Lumen verengte.

Was nun das physiologische Verhalten der Muskelbündel der Schleimhaut betrifft, so hat zuerst Brücke die Erscheinung beschrieben, dass die Schleimhaut des Dünndarms, wenn man langsam mit einer geknöpften Sonde über sie streicht, einsinkt, ein granulirtes Aussehen bekommt, und erkannt, dass diese Veränderung von einer Verkürzung und Verdickung der Zotten herrührt. Auch Donders (12) beschrieb nach Brücke diese Veränderung der Zotten in Folge von mechanischer Einwirkung als bedingt durch die Contraction der Zottenmuskulatur. Veränderungen der Zottenoberfläche schildert auch Toldt (13). Er sieht bei stärkerer Zusammenziehung mehrfach seichtere oder tiefere Einkerbungen an dem seitlichen Umfange der verbreiterten Zotte, wodurch dieselbe das schon älteren Autoren bekannte, an eine Fliegenmade erinnernde Aussehen erhält.

Durch mechanische Reizung mit spitzen Fremdkörpern treten aber, wie A. Exner schildert, am Ort der Reizung Einziehungen in der Schleimhaut auf, die von einem harten, contrahirten Muskelbündeln entsprechenden Wall begrenzt sind. Wie schon in der Einleitung gezeigt, bietet somit diese Dellenbildung, die durch die Wirkung der Muscularis mucosae hervorgerufen wird, einen wirksamen Schutz vor Verletzungen der Darmschleimhaut durch spitze Gegenstände.

Es entsteht nun die Frage, ob jene Thiere, deren Lebensweise und Ernährung es mit sich bringt, dass sie eine grosse Menge von spitzen Gegenständen verschlucken, von der Natur mit einer reichlicher entwickelten, also stärkeren Muscularis mucosae ausgestattet sind, und ob jene, die sich vorwiegend von weicher Nahrung nähren, wie viele Pflanzenfresser, in ihrem Darm eine mangelhafte Ausbildung der Muskulatur der Schleimhaut zeigen. Ferner, ob es sich bestätigt, dass jene Thiere, die, an weiche Nahrung gewöhnt, durch Zufall spitze Fremdkörper verschlucken und so häufig an Darmperforationen im Anschluss daran erkranken, wirklich eine schwächere Muscularis mucosae und somit eine ungenügende Schutzvorrichtung besitzen. Es ist nun freilich nicht zu erwarten, dass bei allen Pflanzenfressern die Muscularis mucosae dünner und schwächer entwickelt sei als bei den Raubthieren, da ja auch die ersteren mit ihrer Nahrung spitze Fremdkörper, Holzsplitter, Disteln und Stacheln aufnehmen. Es kann sich also nur darum handeln, ob sich im Allgemeinen ein Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Muscularis mucosae und der Art der Nahrung feststellen lässt.

Dass sich Unterschiede in der Stärke der Muscularis mucosae finden, bemerkt schon Heidenhain (14), dem es auffällt, dass gegenüber der reichlichen Ausbildung der Muskulatur und des Bindegewebsapparates in den Zotten des Hundes diese beiden Gewebe in der Darmschleimhaut des Kaninchens und Meerschweinchens sehr spärlich entwickelt sind.

Was nun die Häufigkeit des Vorkommens von Verletzungen durch spitze Fremdkörper betrifft, so zeigt sich auch hierin anscheinend ein verschiedenes Verhalten.

A. Exner bemerkt ausdrücklich die auffallende Erscheinung, dass er niemals eine der Nadeln mit ihrer Spitze in die Darmschleimhaut eingebohrt gefunden habe, obwohl er an sieben Katzen und ebenso vielen Hunde über achthundert Nadeln verfüttert hatte.

Dagegen ist die Literatur der durch Fremdkörper im Magen und Darm der Wiederkäuer hervorgerufenen Krankheitserscheinungen eine sehr reiche. Ganz besonders ist die Haube (Netzmagen) des Rindes und der Ziege Verletzungen durch Nadeln, Nägel, spitze Knochenstücke u. s. w. ausgesetzt. Solche Nadeln gelangen oft durch das Zwerchfell in den Herzbeutel, und es ist das Vorkommen von auf diese Weise entstandenen traumatischen Pericarditiden eine bei Rind und Ziege sehr häufige, auch im Lehrbuche von Friedberger und Fröhner (15) beschriebene Erscheinung[1]). Nun sah ich, dass thatsächlich der Netzmagen des Rindes und der Ziege eine äusserst schwach entwickelte Muskulatur der Schleimhaut besitzt, die nur aus ganz vereinzelten Muskelfasern besteht. Dass auch beim Hunde Störungen durch verschluckte spitze Fremdkörper vorkommen, wird zwar in obgenanntem Werke von Friedberger und Fröhner bemerkt, gleichzeitig auch die Thatsache verzeichnet, dass solche bei der Katze viel seltener eintreten.

Ich bestimmte nun die Stärke der Muscularis mucosae im Verdauungskanal verschiedener Thiere. Zur Untersuchung kam der Magen und Darmtract von Rind, Ziege, Pferd, Schwein, Kaninchen, Meerschweinchen, Katze, Fuchs und Fischotter. Ausserdem wurde noch der Darm des Waldkauzes (Syrnium aluco) und des Hechtes (Esox lucius) untersucht und, so weit es möglich war, jedes Mal

---

1) Wie mir Prof. Latschenberger mitzutheilen so freundlich war, befindet sich in der Sammlung der Wiener thierärztlichen Klinik von Prof. Schindelka eine Stopfnadel, die auf diese Weise in den Herzbeutel gelangt ist.

Oesophagus, Magen, Dünndarm, und zwar oberes, mittleres und unteres Drittel desselben, und Dickdarm einzeln geprüft. Sämmtliche untersuchten Objecte waren den frisch getödteten Thieren entnommen. Als Härtungsflüssigkeit wurde theils Müller'sche Flüssigkeit, theils Pikrinsäuresublimat verwendet und die Schnitte nach van Gieson gefärbt, wobei die Contrastfärbung zwischen gelber Muskulatur und rothem Bindegewebe deutlich zu Tage trat.

Was nun die Messungen selbst betrifft, so habe ich zuerst das Verhältniss zwischen Muscularis mucosae und Muscularis externa bestimmt. Unter dieser ist zusammenfassend die äussere Ring- und Längsmuskulatur verstanden. Durch solche relative Bestimmung glaubte ich mich vom jeweiligen, nach Zufälligkeiten wechselnden Contractionszustand des Darmrohres unabhängig zu machen, und am ehesten zeigen zu können, wie sich die Ausbildung der Muscularis mucosae zu der der übrigen Darmmuskulatur verhält. Dieses Verhältniss ist bei den einzelnen Thieren in den untersuchten Darmpartien nahezu constant. Die angegebenen Zahlen sind Durchschnittswerthe von einer Reihe von Einzelmessungen über die Breite der Schichten.

Sie beziehen sich bei den Wiederkäuern nur auf den Labmagen. Im Pansen des Rindes und der Ziege waren nur vereinzelte, nicht zu einer Schichte verbundene Muskelfasern zu sehen. Auch der Netz- und Blättermagen enthält spärliche Muskelfasern. (Nur in den Blättern des Blättermagens ist die Muskulatur stärker entwickelt.) Es ergeben sich für den Magen folgende in Millimetern ausgedrückte Zahlen. Dieselben sind nach der Grösse des Verhältnisses in folgender Tabelle zusammengestellt.

	Musc. mucos.		Musc. ext.		Verhältniss
Fischotter, Fundus	0,0605	:	0,231	=	1 : 3,8
Fischotter, Pylorus	0,044	:	0,297	=	1 : 7
Fuchs	0,044	:	0,396	=	1 : 9
Schwein	0,066	:	0,704	=	1 : 10,6
Katze	0,077	:	0,902	=	1 : 11,7
Kaninchen	0,0176	:	0,396	=	1 : 22,5
Pferd	0,088	:	2,2	=	1 : 25
Rind	0,0264	:	0,77	=	1 : 28
Ziege	0,022	:	0,99	=	1 : 45

Beim Meerschweinchen liess sich ein Verhältniss nicht aufstellen, da die Muscularis mucosae bloss aus einzelnen Fasern besteht.

Es zeigt sich also, dass ein ganz bedeutender Unterschied in dem Verhalten der Muscularis mucosae zu der Muscularis externa bei den vier erstangeführten Thieren im Vergleich zu den sechs letztgenannten besteht. Während die Muskularis mucosae bei diesen nur den 22.—45. Theil der äusseren Muskulatur misst, ist sie bei Fischotter, Fuchs, Schwein und Katze bedeutend stärker und bildet den 4.—11. Theil der Muscularis externa.

Ich habe ferner die absoluten Werthe der Muscularis mucosae (an den gehärteten Präparaten) bestimmt und mit einander verglichen, wobei ich auch die Angaben Mall's (16) über die Stärke der Muscularis mucosae im Magen des Hundes und diejenigen Brümmer's (17) über ihre Stärke bei der Feldmaus und Wasserratte heranzog. Diese Zahlen sind nach der absoluten Dicke der Muscularis mucosae geordnet.

Hund, Pylorus	0,092 mm
Hund, Fundus (Mall)	0,072 „
Katze	0,077 „
Schwein	0,066 „
Fischotter, Fundus	0,061 „
Fischotter, Pylorus	0,044 „
Fuchs	0,044 „
Wasserratte (Brümmer)	0,03 „
Rind	0,026 „
Ziege	0,022 „
Feldmaus (Brümmer)	0,021 „
Meerschweinchen: nur spärliche Fasern.	

Auch hierin zeigt sich wieder ein Ueberwiegen der Muscularis musosae — wenn auch nicht in so auffallender Weise — bei Fuchs, Fischotter, Schwein, Katze und Hund gegenüber der der anderen untersuchten Thiere.

Man sieht, dass auch in dieser Reihe, bei der die absolute Grösse der Thiere ausser Betracht bleibt, diejenigen oben stehen, deren Magen stärker gefährdet ist, diejenigen unten, bei denen dieses in geringerem Maasse der Fall ist. Die letztgenannten nähren sich zumeist von weicher Pflanzenkost, die erstgenannten, vorwiegend Fleischfresser, von einer Kost, die zahlreiche spitze Gegenstände, Gräten, Knochenstücke u. dgl., einschliesst. Somit scheint thatsächlich zwischen der Ausbildung der Muscularis mucosae und der Art der Nahrung der Thiere ein derartiger Zusammenhang zu bestehen, dass diejenigen Thiere, die mit ihrer Nahrung spitze Gegenstände zu sich

nehmen, eine stärkere Muscularis mucosae und mit ihr eine vollkommenere Schutzvorrichtung vor Verletzungen besitzen.

Wie sich die Muscularis mucosae in den einzelnen Altersstufen des Menschen verhält, darüber hat Baginsky (18) Untersuchungen angestellt. Wiewohl sich aus seinen Zahlen nicht gerade deutlich ein Wachsthum der Muscularis mucosae erkennen lässt, behauptet doch Baginsky, dass die Stärke dieser Schicht innerhalb der von ihm untersuchten Zeitabschnitte, d. i. vom viermonatigen Embryo bis zum dreijährigen Kinde, zunehme. Diese Thatsache kann mit dem allgemeinen Wachsthum des Individuums erklärt werden; vielleicht ist aber auch in der stärkeren Entwicklung dieser Schichte eine Anpassung der Muscularis mucosae an die resistentere Nahrung des Kindes gegenüber der Milchernährung des Säuglings zu sehen.

Meine Untersuchungen des Darmes bezogen sich auf das obere, mittlere und untere Drittel desselben und auf den Dickdarm. Die Messungsresultate, in Millimetern ausgedrückt, sowie das Verhältnis der beiden Muskelschichten waren, nach der Grösse dieses Verhältnisses geordnet, folgende:

Dünndarm (erstes Drittel).

	Musc. mucos.		Musc. ext.		Verhältniss
Fuchs	0,0396	:	0,198	=	1: 5
Fischotter	0,0286	:	0,198	=	1: 7
Pferd	0,055	:	0,77	=	1:14
Rind	0,033	:	0,572	=	1:17
Katze	0,044	:	0,77	=	1:18
Schwein	0,0132	:	0,264	=	1:20
Ziege	0,0198	:	0,396	=	1:20
Kaninchen	0,022	:	0,616	=	1:28

Meerschweinchen, nur aus einzelnen Fasern bestehend.

Auch im oberen Theile des Dünndarms zeigt sich somit ein ähnliches Verhalten zwischen Muscularis mucosae und externa wie im Magen. Es ist die Muskelschicht der Schleimhaut bei Fuchs und Fischotter viel stärker entwickelt als bei den übrigen Thieren.

Die absoluten Zahlen für die Dicke der Muscularis mucosae ergeben folgende Werthe:

Hund (Mall)	0,067	mm
Pferd	0,055	„
Katze	0,044	„
Fuchs	0,034	„

Rind	0,033 mm
Fischotter	0,029 „
Kaninchen	0,022 „
Ziege	0,020 „
Schwein	0,013 „

Meerschweinchen, nur aus einzelnen Fasern bestehend.

Wenn auch nicht so deutlich, so zeigt sich auch in diesen Werthen ein Ueberwiegen der Muscularis mucosae bei Hund, Katze, Fuchs und Fischotter. Allerdings steht das Rind auch hier in der Reihe ziemlich hoch.

Dünndarm (mittl. Drittel).

	Musc. mucos.		Musc. ext.		Verhältniss
Fuchs	fehlt				
Schwein	0,0242	:	0,264	=	1 : 11
Kaninchen	0,0066	:	0,088	=	1 : 13
Fischotter	0,0286	:	0,418	=	1 : 15
Rind	0,044	:	0,66	=	1 : 15
Katze	0,033	:	0,66	=	1 : 20
Pferd	0,044	:	1,012	=	1 : 23
Ziege	0,028	:	0,902	=	1 : 32

Meerschweinchen, keine deutliche Schicht.

Die absoluten Werthe, in eine Reihe gestellt, ergaben:

Pferd	0,044 mm
Rind	0,044 „
Katze	0,033 „
Fischotter	0,029 „
Ziege	0,028 „
Schwein	0,024 „
Kaninchen	0,007 „

Meerschweinchen, keine deutliche Schicht.

Dünndarm (unteres Drittel).

	Musc. mucos.		Musc. ext.		Verhältniss
Fuchs	fehlt				
Kaninchen	0,0044	:	0 033	=	1 : 8
Fischotter	0,022	:	0,275	=	1 : 13
Pferd	0,022	:	0,297	=	1 : 14
Ziege	0,011	:	0,176	=	1 : 16
Rind	0,022	:	0,572	=	1 : 26
Schwein	0,022	:	0,605	=	1 : 28
Katze	0,033	:	0,964	=	1 : 29

Meerschweinchen, keine deutliche Schicht.

Die absoluten Werthe ergaben:

Katze	0,033 mm
Fischotter	0,022 „
Schwein	0,022 „
Pferd	0,022 „
Rind	0,022 „
Ziege	0,011 „
Kaninchen	0,004 „
Meerschweinchen, keine deutliche Schicht.	

Im zweiten und dritten Drittel des Dünndarms lässt sich somit kein auffallender Unterschied erkennen. Immerhin nimmt die Fischotter durch die Entwicklung ihrer Schleimhautmuskulatur bei Bestimmung sowohl der absoluten wie relativen Werthe eine der ersten, Ziege und Meerschweinchen eine der letzten Stellen ein.

Was nun die relativen Werthe der Muscularis mucosae im Dickdarm betrifft, so ergeben sich folgende Werthe:

	Musc. mucos.		Musc. ext.		Verhältniss
Fuchs	0,0286	:	0,264	=	1: 9
Fischotter	0,022	:	0,286	=	1:13
Schwein	0,0176	:	0,352	=	1:20
Rind	0,044	:	0,946	=	1:21
Ziege	0,0264	:	0,66	=	1:25
Katze	0,0132	:	0,396	=	1:30
Pferd	0,028	:	0,924	=	1:32
Kaninchen	aus einzelnen Fasern bestehend				1:—
Meerschweinchen	aus einzelnen Fasern bestehend				1:—

Wieder erscheint bei Fuchs und Fischotter die Muscularis mucosae stärker entwickelt und beträgt bei diesen den 9.—13. Theil der äusseren Muskelschicht.

Die absoluten Werthe im Dickdarm, ihrer Grösse nach eingereiht, sind:

Rind	0,044 mm
Fuchs	0,029 „
Pferd	0,028 „
Ziege	0,027 „
Fischotter	0,022 „
Schwein	0,018 „
Katze	0,013 „
Kaninchen, Meerschweinchen	aus einzelnen Fasern bestehend.

Die absoluten Zahlen lassen sonach im Dickdarm keine Anordnung in dem Sinne erkennen, dass bei den Raubthieren die Werthe grösser als bei den anderen untersuchten Thieren wären. Sie sind bei den meisten Thieren nahezu gleich gross.

Die Resultate sind daher folgende:

Die Muscularis mucosae ist im Magen und im oberen Antheile des Dünndarms deutlich stärker entwickelt bei den Thieren, deren Verdauungstract einer Gefährdung durch spitze Fremdkörper ausgesetzt sind, als bei denen, die sich von weicher Kost nähren. Dieser Unterschied tritt besonders deutlich beim Vergleich der Fischotter, die mit ihrer Fischnahrung zahlreiche Gräten verschluckt, mit der Ziege, die hauptsächlich weiche Pflanzenkost zu sich nimmt, hervor. Im unteren Abschnitte des Dünndarms und im Dickdarm ist diese Verstärkung der Muskelschicht der Schleimhaut — eine Art Arbeitshypertrophie — nicht nachweisbar. Es zeigt sich ferner im Allgemeinen eine Abnahme der Dicke der Muscularis mucosae vom Magen zum Dickdarm.

Die Thatsache, dass die unteren Darmpartien eine viel schwächere Muscularis mucosae besitzen als die oberen, und dass hier die Abhängigkeit der Stärke von der Art der Nahrung weniger auffallend ist, ist damit zu erklären, dass Dickdarm und Ileum einer Läsion durch spitze Gegenstände weniger ausgesetzt sind als die oberen Darmabschnitte, da solche Fremdkörper, wie Gräten, die im Magen und Dünndarm leicht Verletzungen hervorrufen können, auf ihrem Wege durch den Verdauungscanal theils durch dessen Secrete erweicht und auf diese Weise abgestumpft, theils in feste Skybala eingeschlossen und so unschädlich gemacht werden.

Ich füge noch die Befunde am Oesophagus einiger Thiere hinzu, obwohl die Muscularis mucosae hier weniger als Schutzvorrichtung dienen wird, da ja die Speiseröhrenschleimhaut durch ihr mächtiges Plattenepithel einigermassen vor Verletzungen geschützt ist.

Oesophagus:

Dicke des Muscularis mucosae bei

Meerschweinchen	0,007	mm
Kaninchen	0,044	„
Rind	0,088	„
Katze	0,132	„
Schwein	0,176	„

Während demnach der Oesophagus wesentlich durch sein dickes Epithel vor Verletzungen geschützt zu sein scheint, ist dieser Schutz im Magen und im oberen Theil des Dünndarmes durch die Thätigkeit der Muscularis mucosae ersetzt. Es kommt dann noch ein weiterer, bis jetzt in dieser Beziehung nicht beachteter Factor hinzu. Es ist dies die sogen. Zeisel'sche Membran. Während Brücke schon in seiner ersten Arbeit über die Muscularis mucosae erklärt hatte, dass die für die Schleimhaut der Zotten bestimmten Muskelbündel von der Muscularis mucosae geliefert werden, eine Ansicht, der sich auch Toldt (19), Kölliker (20) in seinem von Ebner bearbeiteten Handbuch und viele Andere anschlossen — auch Stöhr (21) schreibt: Die Muscularis mucosae besteht aus glatten Muskelfasern, von denen sich im Magen einzelne Züge abzweigen, um in senkrechter Richtung zwischen die Drüsenschläuche emporzusteigen; im Darm reichen senkrecht von der Muscularis mucosae aufsteigende Fasern bis nahe zur Spitze der Zotte —, haben sich andere Forscher, Mall (22) und Roszner (23) gegen einen Zusammenhang dieser beiden Muskelsysteme ausgesprochen, und zwar aus folgendem Grunde: Die Schleimhaut des Magens und Darmes besteht nach den Angaben von Mall aus dem Epithel, einer dünnen, die Grenzschicht bildenden Membran, der eigentlichen Schleimhaut, dem Stratum granulosum, dem Stratum fibrosum und der Muscularis mucosae. Zwischen eigentlicher Schleimhaut und Muscularis mucosae ist somit bei gewissen Thieren eine Schicht eingelagert, die zuerst von Langer und Molin genannt und von M. Zeisel näher beschrieben wurde. Zeisel (24) fand im Magen, sonst aber in keinem Darmabschnitt, der Katze eine Schicht, die er ebenso wie Glinsky (25) als glasartig bezeichnete, welche annähernd dieselben chemischen Reactionen gibt wie Bindegewebe, aus in steilen Wellen gelegten Faserzügen besteht und kleine, kernarme Gebilde erkennen lässt. Diese von Mall (26) als Stratum fibrosum, von Oppel (27) als Stratum compactum bezeichnete Schicht ist es, die nach Mall eine Verbindung zwischen den Muskelelementen der Zotten und denen der Muscularis mucosae ausschliesst und ihr ein „unübersteigbares Hinderniss“ entgegensetzt. Mall behauptet sonach, dass die Muskeln der Zotte — allerdings oft schon tief — in der Kryptenschicht beginnen und in den Zotten endigen.

Im Magen des Falkens und der Katze wurde diese Schicht beschrieben. Auch im Magen des Hundes hat Mall eine solche ge-

sehen. „This rudimentary stratum fibrosum of the dog's stomach may possibly be homologized with a similar membrane described by Zeisel in the cat's stomach.“ Sie ist ferner in grösserer oder geringerer Ausbildung im Darm von Hecht, Huchen, Forelle, Schleie, Manis javanica, Dasyurus hallucatus, Hund und Fuchs beschrieben worden. Ich habe in meinen Schnitten diese Schicht ebenfalls als eine scharf abgegrenzte, wellig verlaufende, kernarme, durch Säurefuchsin sich intensiv röthlich färbende Schicht gesehen, die an Dicke ca. 0,022 mm beträgt. Im Magen der Katze, im Darm des Fuchses, des Hechtes und dem des Waldkauzes war sie deutlich sichtbar, dagegen nicht in dem der Fischotter oder der übrigen untersuchten Thiere.

Oppel deutet die Schichte derart, dass in diesem Stratum compactum das gesammte Stützgewebe des Darmes seine stärkere Entwicklung, gewissermaassen seine Grundlage und seinen Hauptstützpunkt, finde, und ihre Bedeutung mag darin bestehen, dass sie die Wirkung der Muscularis mucosae zu ergänzen oder zu ersetzen vermag. Die Entstehung solcher Membranen scheine einen Zusammenhang mit der Muscularis mucosae zu haben.

Nun scheint es doch beachtenswerth und auffallend, dass gerade bei jenen Thieren, die, wie Fuchs, Katze und Hecht, nach meinen Messungen eine stärkere Muscularis besitzen und deren Schleimhaut des Darmtractes der Gefährdung durch spitze Gegenstände besonders ausgesetzt ist, auch das Stützgerüst zu einer compacten, sehnenartigen, resistenteren Schicht umgewandelt ist. Es scheint somit, als würde der Darmtract nicht nur durch die Muscularis mucosae vor Verletzungen geschützt sein, sondern, dass im Falle eine solche durch Eindringen eines spitzen Körpers doch eingetreten wäre, das Durchdringen desselben bis an das Peritoneum oder gar in die Bauchhöhle durch die aponeurotische Schicht hintangehalten würde.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, dem Vorstand des physiologischen Institutes, Herrn Prof. Sigm. Exner, für die Wahl des zu bearbeitenden Themas, und dem Assistenten Herrn Dr. Const. Economo für seine unermüdliche Unterstützung bei der Ausführung der Untersuchung den besten Dank zu sagen.

Literatur.

1) Dr. A. Exner, Wie schützt sich der Verdauungstract. Pflüger's Archiv f. Physiol. Bd. 89. 1902.
2) A. Th. Middeldorpf, Disquisitio de glandulis Brunnianis Vratislaviae. 1846.
3) Lacauchie, Compt. rend. de l'Acad. de Paris t. 16. 1843.
4) Gruby u. Delafond, Compt. rend. t. 16.
5) E. Brücke, Das Muskelsystem der Schleimhaut, des Magens und Darmcanals. Sitzungsber. der Wiener Akad. d. Wissensch. Bd. 6. 1851.
6) Kölliker, Zeitschr. für wissenschaftl. Zoologie Bd. 3. 1851.
7) Henle, Handbuch der Eingeweidelehre der Menschen Bd. 2. 1873.
8) Heidenhain, Beiträge zur Histologie und Physiologie der Dünndarmschleimhaut. Pflüger's Archiv f. Physiol. Bd. 43. 1888.
9) Schaffer, citirt bei Kölliker, Handbuch der Gewebelehre. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Bd. 100. 1902.
10) Lipsky, Beiträge zur Kenntniss des feinen Baues des Darmcanals. Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissensch. Bd. 55. 1867.
11) Mall, Die Blut- und Lymphwege im Dünndarm des Hundes. Abh. d. math. phys. Classe d. kgl. sächs. Ges. d. Wissensch. Bd 16. 1888.
12) Donders, Physiologie des Menschen Bd. 1. 1856.
13) C. Toldt, Lehrbuch der Gewebelehre. 1888.
14) Heidenhain, siehe (8).
15) Friedberger und Fröhner, Ueber spec. Pathol. und Therapie der Hausthiere. 1886.
16) Mall, Vessels and Walls of the dog's stomach. John Hopkins Hosp. Rep. Bd. 5. (1). 1892.
17) Brümmer, Anatom. u. hist. Untersuch. über d. zusammeng. Magen versch. Säugeth. Deutsche Zeitschr. f. Thiermedicin 1876.
18) Baginsky, Unters. üb. d. Darmcanal d. menschl. Kindes. Virchow's Archiv Bd. 89. 1882.
19) C. Toldt, siehe (13).
20) Kölliker, Handbuch der Gewebelehre, bearbeitet durch von Ebner. 1902.
21) Ph. Stöhr, Lehrbuch der Histologie. 1903.
22) Mall, siehe (11).
23) A. Roszner, Beiträge zur Histologie des Dünndarmes. Ungar. Archiv f. Medicin Bd. 3. 1895.
24) M. Zeisel, Ueber eine eigenthümliche Schicht im Magen der Katze. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien. 1875 Abth. 3.
25) Glinsky, Zur Kenntniss des Baues d. Darmschleimhaut der Wirbelthiere. Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1883 Nr. 13.
26) Mall, siehe (16).
27) Oppel, Lehrbuch d. vergl. mikr. Anatomie. 1902.

(Aus dem physiologischen Institut der kgl. ung. Franz Joseph-Universität in Kolozsvár.)

Farbenmischung in Folge der chromatischen Aberration des Auges.

Von

Dr. **E. Veress**, Assistent des Instituts.

Werden farbige Flächen in unmittelbare Nachbarschaft zu einander gebracht, so zeigt bekanntlich die Qualität und der Sättigungsgrad der Farben eine Veränderung, obwohl für diese Veränderung eine andere objective Ursache wie eben die Nachbarschaft der beiden Flächen eventuell nicht vorhanden ist. Farbige Flächen können nicht nur im Wege der psychischen (Helmholtz) und physiologischen Processe (Hering, Exner)[1]) auf einander gegenseitig modificirend einwirken. In einigen, wenn auch recht speciellen Fällen kann diese Wirkung vor Allem auf physikalische Factoren zurückgeführt werden, wie es auch der folgende einfache Versuch zeigt:

Wenn man 3—10 mm breite blaue und gelbe Papierstreifen in stets abwechselnder Reihenfolge auf ein Kartenblatt dicht unmittelbar neben einander aufklebt, die so gewonnene Figur in den Nahepunkt des Auges bringt, aber irgend einen entfernteren Punkt fixirt, so kann man an den verschwommen erscheinenden Grenzlinien der Streifenpaare je einen ziemlich hell violett oder rosa gefärbten Saum wahrnehmen[2]). Dieser Saum gehört dem blauen Streifen an; hiervon kann man sich in einfacher Weise überzeugen, indem man die im Nahepunkt liegende Figur nur mit in geringem Maasse desaccommodirten Auge betrachtet, und dann, nachdem der violette Saum deutlich wahrnehmbar geworden, die Grenzlinie wieder scharf zu fixiren versucht. In diesem Falle wird der Flächenwerth des blauen Streifens in einem der Breite des verschwundenen violetten Saumes entsprechenden Maasse plötzlich vergrössert erscheinen.

---

1) Studien auf dem Grenzgebiete des localisirten Sehens. Arch. f. die ges. Physiol. Bd. 73 S. 117—171. 1898.

2) Die Erscheinung tritt besonders bei horizontaler Lage der Streifenreihen hervor.

Nebenbei kann auch eine, von der Grenzlinie der blauen und gelben Streifen ausgehende und sich nach der gelben Fläche ausbreitende Farbenveränderung beobachtet werden, welche bei gewisser Einübung in Form eines grünen Saumes wahrnehmbar wird. Diese letztere Erscheinung pflegt jedoch die Aufmerksamkeit nicht in so auffallender Weise auf sich zu lenken, wie der helle violette Saum der blauen Fläche.

Zu den Versuchen können einerseits orange-, gold- oder citronengelbe, andererseits cyan-, wasser- oder ultramarinblau gefärbte Papiere verwendet werden. Der erwähnte farbige Saum des blauen Streifens erscheint, je nach der Qualität des verwendeten Farbenpaares, bald violett, bald hell rosa gefärbt. Der Versuch gelingt nicht nur mit parallel neben einander gelegten Streifen, sondern auch mit anders gestalteten farbigen Figuren, vorausgesetzt, dass die farbigen Flächen scharf abgegrenzt einander dicht anliegen, und dass die ganze Figur mit der jeweiligen Entfernung nicht entsprechend accommodirtem Auge betrachtet wird.

Will man die Ursache der beschriebenen Erscheinung zu erklären suchen, so kann vor Allem den negativen Nachbildern und dem Contraste nicht die wesentlichste Rolle zugeschrieben werden. Die Sache würde sich anders verhalten, wenn nicht complementäre Farben neben einander gestellt wären. Betrachtet man z. B. unmittelbar an einander gelegte rothe und gelbe Papierstreifen, so schlägt die Farbe des rothen Streifens in Purpur um, da in Folge der dem Bewusstsein entgehenden sehr kleinen Augenbewegungen, das dem gelben Streifen entsprechende negative Nachbild auf das rothe Feld übertragen und dem zu Folge das blaue Nachbild mit der objectiv vorliegenden Farbe gemischt wird. Gleichzeitig zeigt der gelbe Streifen, wegen der Mischung mit dem dem rothen Feld entsprechenden Nachbilde, einen Stich in's Grüne. Damit diese Erscheinung auftreten könne, dazu müssen, wie dies Helmholtz[1]) nachgewiesen hat, die Augen minimal kleine Bewegungen ausführen. Aus ähnlichen Gründen nimmt das in blaugrünem Felde liegende, rein blaue Papierstückchen eine dem Violett sich nähernde Färbung an.

Bei dem oben beschriebenen Versuche kann die Contrasterscheinung auch schon darum keine Bedeutung haben, da es sich

---

1) Handbuch d. physiol. Optik. II. Aufl. S. 541. 1896. (Chevreul's Versuche.) Leop. Voss, Hamburg u. Leipzig.

um ein Aneinanderreihen von complementären Farben handelt. Die möglichst bewegungslose Fixirung der Blickrichtung gibt ausserdem eine günstige Versuchsbedingung ab. Die ruhige Fixirung kann leicht erreicht werden, da die Unterschiede in der Schärfe der retinalen Bilder beim nicht accommodirten Auge viel weniger zur Geltung kommen, als es beim genau accommodirten Auge der Fall zu sein pflegt. Die Grenzen der scharfen und der verschwommenen retinalen Bilder sind unbedingt Ausgangspunkte verschiedener Reflexprocesse, welche zu einer Verschiebung der Blickrichtung führen. Ist das Auge nicht genau accommodirt, so können solche Reize in viel geringerem Maasse ihre Wirkung entfalten.

Die Ursache des Entstehens des violetten oder rosa gefärbten Saumes im blauen Felde, kann darin erblickt werden, dass in Folge der chromatischen Aberration des Auges an der Grenzlinie farbige „physikalische“ [1]) Zerstreuungskreise auftreten, ebenso wie in denjenigen Fällen, wenn Grenzlinien von weissen und schwarzen Feldern auf der Retina undeutlich gezeichnete Bilder abgeben. Aus der Reihe dieser farbigen Zerstreuungskreise kommt der rothe Saum am meisten zur Geltung. Auf die Netzhaut fallen demnach gleichzeitig mit der blauen Farbe des Papierstreifens auch rothe oder röthlichorange Strahlen auf, und es resultirt dementsprechend eine Farbenmischung. Die Qualität der Mischfarbe hängt, ausser dem Ton und dem Unterschied in der Sättigung der verwendeten Farben, auch noch vom Grade der Accommodation ab. Wir können demnach an der Grenze des blauen Feldes in unserem Versuche, den Regeln der Farbenmischung entsprechend, einen violetten, rosa, oder eventuell auch weisslich rosa gefärbten Saum entstehen sehen. Die Erscheinung kann am ehesten bei Verwendung von goldgelb und ultramarinblau gefärbten Papierstreifen beobachtet werden, da in diesem Falle eine geringere, also leichter erreichbare Abänderung der Refraction schon genügt, um mit Hülfe des dem Violett nahe stehenden Ultramarins die Farbenmischung zu bewerkstelligen.

Der Versuch kann genau dasselbe Resultat auch mit einem solchen blau-gelben Farbenpaar ergeben, welchem entsprechende Spectralstrahlen nach dem Vermischen rein weiss erscheinen, oder welche in Form von Pigmenten durch Mischung reines Grün geben.

---

1) Siehe Exner's Unterscheidung zwischen „physiologischen“ und „physikalischen“ Zerstreuungskreisen; l. c. S. 113.

Bei dem beschriebenen Versuche spielen also die von der chromatischen Aberration des Auges abhängigen physikalischen Zerstreuungskreise die Hauptrolle. Diese chromatische Aberration kann bekanntlich im Allgemeinen insbesondere dann leicht wahrgenommen werden, wenn die Helligkeit der neben einander liegenden Objecte grosse Unterschiede aufweist. In Gelb und Blau können viele solche Abtönungen paarweise zusammengewählt werden, welche, einzeln für sich genommen, bezüglich der Sättigung ziemlich weit von einander abstehen [1]). Gewisse blaue Farben erscheinen neben dem hell leuchtenden Gelb sehr dunkel; die Bedingung des Auftretens der chromatischen Aberration wird also auch bei mit solchen Farbenpaaren ausgeführten Versuchen nicht fehlen.

Wenn dagegen der Versuch mit blassem, hellem, d. h. weisslichem Himmelblau oder Cyanblau, und andererseits mit ziemlich dunklem Goldgelb angestellt wird, so resultirt auch in diesen Fällen in Folge der durch die chromatische Aberration bedingten Farbenmischung ein farbiger, und zwar ein weisslich rosa gefärbter, gegen das blaue Feld sich verbreitender Saum, obwohl hier zwischen den Helligkeiten ziemlich geringe Unterschiede vorhanden sind. Es ist wahrscheinlich, dass an der Grenze solcher farbigen Flächen, welche unter gewissen Umständen den Wettstreit der Gesichtsfelder auslösen, farbige Zerstreuungskreise sehr leicht entstehen. Dafür spricht auch jener Umstand, dass, wenn man mit nicht genau accommodirtem Auge einen blauen Streifen auf weissem Grund betrachtet, die von der farbigen Zerstreuung abhängige Farbenmischung so ziemlich nur in dem Falle unsere Aufmerksamkeit auf sich lenken wird, wenn beim Versuche ultramarinblaue Streifen verwendet werden. Der Versuch gelingt aber mit Ultramarinblau viel leichter, wenn die complementäre Farbe zur Hülfe genommen wird.

Fixirt man die Grenzlinien der aus etwa 3—4 mm breiten gelben und blauen Streifen zusammengestellten Figur möglichst scharf, so kann, entlang der Grenzlinien je eines blauen Streifens, nur eine Veränderung in der Helligkeit beobachtet werden. Das blaue Feld erhält einen gesättigteren blauen, der gelbe Streifen dagegen einen helleren gelben Saum; es tritt also hier der Effect des simultanen Contrastes in den Vordergrund. Dieser aber kann natürlich nur eine Veränderung der Intensität der Helligkeiten hervorrufen.

---

1) Helmholtz, l. c. S. 319.

Die beschriebene Farbenmischung kann aber gleichzeitig auch im peripherischen Gesichtsfeld ziemlich gut beobachtet werden.

Wird das emmetropische Auge mit Hülfe von Brillengläsern hypermetropisch oder myopisch gemacht, so wird die Farbenmischung am undeutlich eingestellten Bilde, bei welch' auch immer einer Function des Accommodationsapparates, sehr auffallend hervortreten.

Dass die chromatische Aberration hier die Hauptrolle spielt, dies kann auch bewiesen werden, indem der optische Fehler des Auges nicht durch eine der Entfernung des Objectes nicht entsprechende Accommodation, sondern auf eine andere Weise vergrössert wird.

Klebt man z. B. einen ungefähr 4—5 mm breiten blauen Papierstreifen zwischen zwei gleich breite gelbe Streifen auf und betrachtet dann die so gewonnene Figur, indem man gleichzeitig mit Hülfe eines vorgelegten Kartenblattes die eine Hälfte der Pupille von oben her verdeckt, so wird an der oberen Grenzlinie des blauen Streifens ein lebhaft grüner Saum bemerkbar, welcher im gelben Felde liegt. An der unteren Grenzlinie des blauen Streifens erscheint dagegen ein lebhaft violetter Saum, welcher in's blaue Feld hineinreicht. Wird die Pupille von unten her verdeckt, so tauschen die violetten und gelben Säume ihre Plätze aus. Die Verdeckung der Pupille schwächt die Bedeutung der Accommodation ab, um so mehr, da ja eine jede künstliche Verengerung der Pupille das Sehen selbst bei nicht genauer Einstellung des dioptrischen Apparates schärfer macht.

Bei freier Pupille erscheinen die violetten und gelben Säume an jeder einzelnen Grenzlinie der blauen und gelben Streifen; sobald aber die Pupille zur Hälfte verdeckt wird, gehen die Zerstreuungskreise aus einander. Fixirt man nun gleichzeitig mehrere blaue und gelbe Streifen, so erscheinen die violetten und grünen Säume abwechselnd hinter einander, als ob man die Figur durch ein Prisma betrachten möchte.

Bei dem anderen complementären Farbenpaare, nämlich mit Roth und Blaugrün, ist die von der chromatischen Aberration abhängige Farbenmischung nicht so leicht zu erzielen und führt auch zu einem anderen Resultat, wie mit Blau und Gelb. Roth und Blaugrün stehen bezüglich der Helligkeit und der Sättigung viel näher zu einander, als Blau und Gelb, und stellen demnach zum Hervorrufen der chromatischen Aberration einen nicht genügend

wirksamen äusseren Reiz dar. Wird aber die Figur so dargestellt, dass zwischen zwei zinnoberrothen und gleich breiten Papierstreifen ein ebenso breiter, blaugrüner Streifen zu liegen kommt, und wird die Chromasie des Auges durch Verdecken der Pupille von unten her gesteigert, so erscheint an der oberen Grenze des blaugrünen Streifens ein schmaler, ziemlich scharf abgegrenzter weisser Saum[1]). Dieser Saum liegt im Gebiet des grünen Streifens, wie dies durch mehrfach wiederholtes rasches Abheben und ebenso rasches Vorlegen des zum Verdecken der Pupille dienenden Kartenblattes bewiesen werden kann. In dem Augenblicke, wo das vor die Pupille gestellte Kartenblatt entfernt wird, wächst nämlich der Querdurchmesser des blaugrünen Streifens genau mit der Breite des verschwundenen weisslichen Saumes. Wird die Pupille von oben her verdeckt, so erscheint der weisse Saum an der entgegengesetzten Seite des grünen Streifens. Der hier in Folge der chromatischen Aberration auftretende rothe Saum gibt also mit der Farbe des blaugrünen Streifens durch Mischung reines Weiss[2]). Es kann also nicht die Rede sein, als ob die Diffractions-Zerstreuungskreise des undeutlich gesehenen rothen Feldes, mit den Diffractions-Zerstreuungskreisen des grünen Streifens in einer günstigen Sättigungszone zusammentreffend, die Mischfarbe ergeben könnten.

Eine solche Erklärung ist um so weniger am Platze, da wir bei Verwendung dieses Farbenpaares, einfach mit Hülfe der ungenauen Accommodation, nur nach längerer Uebung den weissen Saum bemerken können. Hauptsächlich spricht aber ausserdem noch jener Umstand gegen die Berechtigung einer solchen Auffassung, dass der weisse Saum die Grenze des blaugrünen Feldes nirgends überschreitet. Wäre die Ursache der Erscheinung das Zusammentreffen der den undeutlich begrenzten farbigen Flächen entsprechenden Bilder, so würden wir auch beim Versuch mit dem Farbenpaar Blau-Gelb reines Weiss in Form eines Streifens erhalten, welcher sowohl in das blaue als auch in das gelbe Feld zum Theil übergreifen würde. Der

1) An der entgegengesetzten Seite des blaugrünen Streifens erscheint ein dunkelbrauner, beinahe schwärzlicher Saum, welcher mit dem weissen Saume seinen Platz wechselt, wenn die Pupille von oben her verdeckt wird.

2) Am rothen Streifen konnte ich nur eine derartige Veränderung wahrnehmen, nämlich die, dass das dem weissen Saum nächstliegende Gebiet lebhaft leuchtend wird und gleichzeitig den Farbenton des der Fraunhofer'schen Linie *B* im Spectrum näher liegenden Roth aufnimmt.

von der Diffraction abhängige Versuchsfehler könnte eher bei Versuchen mit dem Farbenpaar Roth-Blau eine Rolle spielen.

Mit dem Farbenpaar Roth-Blaugrün kann daher eine Farbenmischung nicht nur mit Hülfe der „physiologischen Zerstreuungskreise", wie dies Exner beschrieben hat[1]), sondern auch mit Hülfe der von der chromatischen Aberration abhängigen physikalischen Zerstreuungskreise erzielt werden. Diese Beobachtung dient zur Unterstützung jener Ansicht Exner's, dass, wenn man die Grenze des deutlichen Sehens überschreitet: „so findet eine physiologische Mischung der Helligkeiten statt, welche zu demselben Ergebniss führt, zu welchem die physikalische Mischung der gleichen Helligkeiten geführt hätte" [2]).

Diese Farbenmischung stört aber als solche die gesonderte Beurtheilung der neben einander liegenden rothen und blaugrünen Farben überhaupt nicht, da das undeutliche Sehen allein für sich die Erscheinung noch nicht hervorrufen kann.

Dagegen kann beim Versuche mit dem Farbenpaare Blau-Gelb der violette Saum, besonders bei der Beurtheilung des Charakters der blauen Farbe, an den undeutlich gesehenen Theilen der Figur zu Irrungen Anlass geben. Der am Rande des blauen Feldes liegende violett oder rosa gefärbte Saum kann nämlich, da er eine grosse Helligkeit besitzt, Irradiationserscheinungen hervorrufen. Dieser Saum wird zwar vom Rande des blauen Streifens gegen die Mitte zu stets verschwommener; ist jedoch der blaue Streifen sehr schmal, z. B. nicht breiter als 2—3 mm, so nähert sich die Farbe des Streifens in seiner ganzen Ausdehnung dem Violett. Es gelingt überhaupt nicht leicht, das zwischen gelben Streifen liegende Wasserblau oder Pariserblau von einem solchen Einfluss nicht ausgesetztem Ultramarin zu unterscheiden. Bei scharfer Einstellung des Auges wird die Erscheinung weniger auffallend.

---

1) Exner (l. c. S. 156) stellte aus rothen und grünen, ziemlich gleich hellen, 1 cm^2 grossen Flächen ein Schachbrettmuster zusammen und betrachtete dasselbe aus verschiedenen Entfernungen, indem er das Sehen mit Hülfe von Brillenglas und Diaphragma corrigirte. In einer gewissen Entfernung schmolz das Muster zu einer gleichmässig grau gefärbten Fläche zusammen.

Das Ergebniss der oben beschriebenen Versuche kann auch schon darum nicht als Folgeerscheinung der Rolle der physiologischen Zerstreuungskreise betrachtet werden, da die Versuchsbedingungen das Entstehen nicht dieser, sondern der physikalischen Zerstreuungskreise begünstigen.

2) l. c. S. 119.

Bei der Beurtheilung der Farben sind wir also mit Bezug auf das Farbenpaar Blau-Gelb Irrthümern ausgesetzt, welche objectiven Ursachen entspringen. Auf farbige Inductionswirkungen hinweisende psychische oder aber physiologische Processe können also auch durch physikalische Ursachen ausgelöst resp. in Gang gebracht werden. Der in falscher Richtung angehende Process kann dann mit Hülfe der Seelenthätigkeit zum Abschlusse gebracht werden.

(Aus der biologischen Abtheilung der zoologischen Station zu Neapel.)

Ueber Hämocyanin nebst einigen Notizen über Hämerythrin.

Ein Beitrag zur Kenntniss der Blutfarbstoffe.

Von

Prof. **R. Kobert,**
Director des Inst. f. Pharmakol. u. physiol. Chem. zu Rostock.

(Hierzu Tafel VI.)

Inhaltsübersicht.

1. Geschichtliches über Hämocyanin.

Während bei den Wirbelthieren nur ein einziger Eiweisskörper bekannt ist, welcher die Fähigkeit besitzt, reichlich Sauerstoff aufzunehmen und die sämmtlichen Gewebe des Organismus damit zu versorgen im Stande ist, lassen sich bei den Wirbellosen mehrere solcher der Respiration dienenden Sauerstoffträger nachweisen. Zunächst kommt auch hier das bei den Wirbelthieren sich findende Hämoglobin, und zwar meist in gelöster Form, vor. Weiter aber findet sich hier eine analoge Eiweissverbindung, welche zwar auch wie das Hämoglobin als Träger des Sauerstoffs Eisen enthält, welche ferner auch wie das Hämoglobin an der Luft roth wird, welche jedoch trotzdem mit dem Hämoglobin und seinen Zersetzungs-

producten nicht den geringsten Zusammenhang hat. Dieser Stoff ist das Hämerythrin. Bei Abwesenheit von Sauerstoff wird diese Substanz farblos. Eine dritte Gruppe respiratorischer Eiweisskörper der Wirbellosen bilden die auch im mit Sauerstoff gesättigten Zustande farblosen Achroglobine. Das bekannteste derselben ist das Pinnaglobin der Streckmuskel, welches statt Eisen Mangan enthält. Ein vierter respiratorischer Eiweisskörper der Wirbellosen ist wie das Hämerythrin im sauerstofffreien Zustande farblos, im mit Sauerstoff gesättigten aber intensiv blau und hat dadurch schon vor 100 Jahren die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich gezogen. So beschrieb Erman schon 1817 die blaue Farbe des Schneckenblutes, der Dorpatenser Professor Carus 1824 die des Flusskrebsblutes, 1846 Wharton Jones die des Krabbenblutes und 1847 Harless (zum Theil mit Bibra) das Vorkommen blauen Blutes bei Eledone, Sepia, Loligo u. s. w. Mit der bläuenden Substanz des Sepienblutes hat sich dann Paul Bert eingehender beschäftigt. Aber schon Harless hatte die für uns hier wichtige Entdeckung gemacht, dass das blaue Blut höchstens Spuren von Eisen, dagegen stets Kupfer enthält. Genth bestätigte 1852 diese wichtige Thatsache für das blaue Blut von Limulus Cyclops, Schlossberger 1857 für verschiedene Cephalopoden und Gorup-Besanez bald darauf für Unio. Den Namen Hämocyanin für diesen Blutfarbstoff hat 1878 Frédéricq eingeführt. In chemisch reinem Zustande ist es namentlich von Henze (1901) dargestellt und nach verschiedenen Richtungen hin auf's Genaueste untersucht worden. Dieser Forscher ist auch der einzige, welcher Krystalle des Hämocyanins zu gewinnen im Stande war; diese sind leider nirgends abgebildet.

2. Vorkommen des Hämocyanins.

Das Hämocyanin findet sich mindestens in zwei Classen der Wirbellosen, nämlich bei den Mollusken und den Arthropoden.

Von den **Mollusken** sind drei Unterabtheilungen zu nennen. Aus der Abtheilung der Cephalopoden enthalten Octopus, Eledone, Sepia und Loligo Hämocyanin. Aus der Abtheilung der Lamellibranchier nenne ich Mytilus, Anodonta, Unio, Mya, Pecten, Meretrix. Aus der Abtheilung der Gastropoden gehören hierher Species von Helix, Limnaeus, Arion, Paludina, Fissurella, Haliotis, Turbo, Murex, Cassidaria, Triton, Cyclostoma, Scaphander, Capulus u. A.

Von den **Arthropoden** sind ebenfalls drei Unterabtheilungen zum Theil hämocyaninhaltig. Von den Crustaceen nennt Cuénot Homarus, Astacus, Palinurus, Nephrops, Cancer, Carcinus, Pilumnus, Eriphia, Portunus, Grapsus, Maja, Limulus. Als weitere Unterabtheilungen der Arthropoden, bei denen sicher ein Hämocyanin vorkommt, sind die Scorpioniden und die Araneïden zu nennen, die man unter dem gemeinsamen Namen Arachnoiden zusammenfassen kann. Es ist noch keineswegs ausgemacht, dass das Hämocyanin der Arthropoden mit dem der Mollusken identisch ist; es steht ihm vielleicht nur nahe. Weiter darf nicht unerwähnt bleiben, dass sich bei vielen der genannten Thiere neben dem Hämocyanin theils noch andere Farbstoffe, theils metallfreie Achroglobine im Blute finden, welche die Isolirung des Hämocyanins sehr erschweren. Die Angaben über Vorkommen von Hämocyaninen bei Echinodermen und Tunicaten scheinen auf Verwechselung zu beruhen.

3. Eigenschaften des Hämocyanins.

Die wässerigen Lösungen des Oxyhämocyanins sind blau und ähneln verdünnter Fehling'scher Lösung. Im sterilen Zustande aufgehoben bleiben sie auch bei Luftabschluss blau. Im Thierkörper wird das blaue Blut, falls man z. B. den Octopus aus dem Wasser nimmt, rasch entfärbt, weil die Gewebe ihm den Sauerstoff entziehen und reducirtes Hämocyanin bilden. Dieses ist farblos. Sobald die Thätigkeit der Kiemen wieder beginnen kann, sieht man auch den Inhalt der Hauptarterie sich wieder bläuen. Derselbe Farbenumschlag tritt ein, wenn man unter der Luftpumpe das Blut entgast (Entfärbung) und dann mittelst Sauerstoffdurchströmung wieder arterialisirt (Bläuung). Die mittelst der Quecksilberluftpumpe gewonnenen Blutgase des Cephalopodenblutes wurden namentlich von Griffiths quantitativ untersucht und darin ein sehr hoher Sauerstoffgehalt (13—14 %) gefunden. Henze vermochte allerdings nur 3—3,7 % Sauerstoff aus Octopusblut zu gewinnen. Wenn Heim nach der Schützenberger'schen Methode im Crustaceenblute nicht mehr Sauerstoff fand als im Flusswasser, so beweist dies schon desshalb nicht viel, da das Crustaceenblut sehr arm an Hämocyanin ist, während das Octopusblut 9 % Oxyhämocyanin enthalten dürfte (Henze). Ferner hat Cuénot dargethan, dass die Heim-schen Zahlen auf Versuchsfehlern beruhen, da er bei Anwendung derselben Methode wesentlich höhere Werthe erhielt. Wie sehr der

Kupfergehalt und dementsprechend natürlich auch der Hämocyaningehalt des Blutes verschiedener Thierarten verschieden ist, ersieht man aus folgenden von Dhéré festgestellten Zahlen:

in 100 ccm Blut von	Octopus vulg.	. . .	18,0—23,5	mg Cu
„ 100 „ „ „	Helix pomatia	. . .	6,5—12,5	„ „
„ 100 „ „ „	Cancer pagurus	. .	3,5—13,5	„ „
„ 100 „ „ „	Palinurus vulg.	. .	7,5—11,0	„ „
„ 100 „ „ „	Homarus vulg.	. .	9,5—10,5	„ „
„ 100 „ „ „	Astacus Eluviat.	. .	4,0— 8,0	„ „

Henze fand im krystallisirten Hämocyanin 0,38 % Cu. Daraus berechnen sich bei 9 % Hämocyanin für 100 ccm Blut des Octopus sogar 34,2 mg Cu. Das Sauerstoffbindungsvermögen von 1 g Hämocyanin berechnet Henze auf 0,4 ccm Sauerstoff, d. h. auf den vierten Theil des dem Hämoglobin zukommenden Werthes.

Das krystallisirte Hämocyanin bildet im trockenen Zustande ein tiefblaugraues Pulver. Der Schwefelgehalt beträgt 0,85—0,89 %.

4. Einige eigene chemische Versuche mit Hämocyanin.

Sämmtliche Angaben von Henze beziehen sich nur auf das Blut von Octopus. Es ist — darüber sind alle Autoren einig — aber wünschenswerth, das Blut möglichst vieler blaublütigen Thiere an der Hand der Henze'schen Angaben nachzuuntersuchen. Am nächstliegenden war es zunächst mit dem der Eledone moschata sich zu beschäftigen.

Ich fixirte möglichst grosse Exemplare der Eledone auf einem Brett und liess in ihre Kiemen dauernd einen Strom Seewasser einströmen. Alsdann wurde die Hauptarterie präparirt, centralwärts eine Kanüle eingebunden und aus dieser die Thiere entblutet.

Das so gewonnene tiefblaue Blut zeigte nach einiger Zeit eine schwache Fibringerinnung. Durch diese wurde die Hauptmenge der vorhandenen Leukocyten mit beseitigt, da diese Zellen an der Gerinnselbildung wesentlich mit betheiligt sind. Der Rest der jetzt etwa noch vorhandenen liess sich durch Centrifugiren leicht beseitigen.

Es schien mir von Interesse, festzustellen, ob die Fibringerinnung sich wie beim Wirbelthierblut durch Natriumoxalat beseitigen lasse. In der That gerann das unter Rühren in 2 ccm 1 %igem Natriumoxalat aufgefangene Blut eines weiteren Thieres nicht, wohl aber

trübte es sich sofort beim Einströmen in die Oxalatlösung, und beim Mikroskopiren eines Tröpfchens der Flüssigkeit zeigten sich sehr reichliche wohl ausgebildete Krystalle von Calciumoxalat. Dieser Versuch zeigt, dass im Blute der Eledone Kalkverbindungen enthalten sind. Er zeigt weiter, dass nach Bindung dieses Kalkes an Oxalsäure keine Fibringerinnung erfolgt. Die Verhältnisse sind hier also ganz entsprechend wie bei den Wirbelthieren. Die Anwesenheit des Calciums im Blute hat Henze auch bei Octopus constatirt. Versetzte ich nach seiner Angabe das Blut tropfenweise mit so viel starker Salzsäure, dass alle Eiweissstoffe koagulirt wurden, und filtrirte, so liess sich auch bei Eledone im eingeengten Filtrate eine Abscheidung von Nädelchen wahrnehmen, die sich als aus Gyps bestehend erwiesen. Henze ist geneigt anzunehmen, dass bei ihm das Calciumsulfat „vielleicht aus dem destillirten Wasser bei der Dialyse" hergerührt habe. Bei mir bildeten sich diese Krystalle, ohne dass eine Dialyse vorhergegangen war. Ich muss mich also dahin aussprechen, dass das Cephalopodenblut als normalen Bestandtheil Calcium, wohl locker gebunden, enthält, welches unter Einwirkung von Salzsäure oder Oxalsäure abgespalten wird. Die zur Bildung von Gyps erforderliche Schwefelsäure muss ebenfalls aus dem Blute stammen. Das vom Kupfer sich abspaltende Eiweiss des Hämocyanins fällt bei Zusatz starker Salzsäure als schneeweisse Masse aus und lässt sich leicht fast Ca-frei waschen. Das Filtrat enthält neben Calcium natürlich Kupfer.

Wir haben oben gesehen, dass das Hämocyaninblut beim Aufheben selbst unter Luftabschluss blau bleiben soll, falls es steril ist, dass mithin eine sogenannte Sauerstoffzehrung im Blute nicht vorhanden ist. Ich habe zu diesem Behufe defibrinirtes Eledoneblut unter Olivenöl in den Brüteschrank gesetzt und selbst bei fünftägiger Einwirkung einer Temperatur von 39—40° C. die blaue Farbe sich unverändert halten gesehen. Ich muss mich daher ebenfalls dahin aussprechen, dass das Oxyhämocyaninblut der Eledone selbst in der Wärme unter Luftabschluss seinen Sauerstoffgehalt bewahren, d. h. sich blau erhalten kann. Falls man reducirende Stoffe (Zucker) zusetzt, oder falls solche zufällig im Blute reichlich vorhanden sind, ist der Ausfall des Experimentes natürlich ein anderer.

Die Intensität der blauen Färbung des Eledoneblutes ist bei

kräftigen, in geschickter Weise entbluteten Thieren eine beträchtliche; die Färbung ist dann sehr ähnlich einem Gemisch von gleichen Theilen Wasser und Fehling'scher Lösung. Verdünnt man das Cephalopodenblut successive mit Wasser, so wird es für die Betrachtung bei durchfallendem Lichte sehr rasch entfärbt, während es bei auffallendem dann noch deutlich blau erscheint.

Wir Mediciner sind so an die Vorstellung gewöhnt, dass der Blutfarbstoff ein Streifenspectrum zeigt, dass es uns zunächst sehr auffällt, dass dünne Lösungen von Oxyhämocyanin kein bandartiges Absorptionsspectrum haben. Concentrirte Lösungen desselben Stoffes löschen ohne scharfe Begrenzung lediglich das Orange, Gelb und die erste Hälfte des Grün zum grössten Theil aus. Concentrirte Lösungen des reducirten Hämocyanins thun auch dies nicht einmal.

Was den Nachweis des Hämocyanins anlangt, so ist dieser im Vergleich zu dem des Hämoglobins bei kleinen Mengen relativ schwierig, weil die bequeme Handhabe der Prüfung der fraglichen Flüssigkeit mit dem Spectroskop versagt. Wo zum Nachweis das Blauwerden einer Flüssigkeit bei Luftzutritt und das Farbloswerden bei Einwirkung reducirender Einflüsse nicht ausreicht, da muss man sich, wie Henze mit Recht angibt, der Biuretreaction bedienen. Zu diesem Behufe versetzt man das fragliche Blut, möge es reducirtes Hämocyanin oder Oxyhämocyanin enthalten, mit starker Kali- oder Natronlauge, wobei charakteristische Violettfärbung eintritt. Durch diese Reaction wird gleichzeitig bewiesen, dass das Cu im Hämocyanin nicht so festgebunden, nicht so larvirt ist wie das Eisen im Hämoglobin. Ganz frei zugängig für Reactive ist das Kupfer im Hämocyanin jedoch auch nicht. Sehr verdünntes Schwefelammon z. B. wirkt daher auf Eledoneblut nicht schwärzend. Befeuchtet man trockenes Hämocyaninpulver mit Ferrocyankalium, so tritt, wie Henze ganz richtig angibt, ebenfalls keine Farbenveränderung ein, wohl aber nach vorherigem Befeuchten des Pulvers mit sehr verdünnten Säuren (1 %iger Essigsäure, 0,1 %iger Salzsäure u. s. w.). Wir haben daher im Hämocyanin eine Verbindung vor uns, welche dem Harnack'schen Kupferalbuminat nicht unähnlich ist.

Die gewöhnlichen Fällungsreagentien für Eiweissstoffe, wie Esbach's Reagens, Spiegler's Reagens, Ferd. Mayer's Reagens, Phosphorwolframsäure, Phosphormolybdänsäure,

Ferrocyankalium-Essigsäure, Gerbsäure, wirken, wie ich bestätigen kann, selbst auf recht verdünnte Lösungen von Hämocyanin fällend ein; jedoch unterscheiden sich diese Fällungen in keiner Weise von Eiweissfällungen und können daher nur als Gruppenactionen und nicht als etwas Specifisches angesehen werden. Auch die Xanthoproteïnreaction und die Millon'sche Reaction haben nur die Bedeutung von Gruppenreactionen. Beim Erhitzen von Hämocyaninblut mit bleioxydhaltiger Kalilauge tritt bald Schwärzung ein, wodurch bewiesen wird, dass der Schwefel des Hämocyanins wenigstens theilweise sich leicht in Form von Schwefelwasserstoff abspaltet.

Von Salzen der schweren Metalle wirken die des Zinks und Kupfers bei vorsichtigem Zusatz zwar fällend, aber nicht zersetzend. Ich habe durch meine Schüler Ackel, Jutt, Klempner und Grahe[1]) früher darthun lassen, dass man aus Hämoglobinlösungen mit Hülfe dieser Salze den Blutfarbstoff quantitativ ausfällen kann, und dass diese Fällungen, so lange sie feucht sind, sich unter Erhaltung der rothen Farbe und des Spectrums des Oxyhämoglobins lösen lassen. Sie geben die einzige, bis jetzt überhaupt vorhandene, von den Praktikern leider nie benutzte Möglichkeit, z. B. aus einem Harn, welcher Spuren von Hämoglobin enthält, den Blutfarbstoff abzuscheiden und in concentrirter Form wieder in Lösung zu bringen. Es war mir von grossem Interesse, jetzt das Verhalten des Zinksulfates und Kupfersulfates zu Eledoneblut zu prüfen. Ich rede zunächst über das Verhalten zu Zinksulfat.

Einige Kubikcentimeter Eledoneblut wurden mit 1 l destillirten Wassers verdünnt. Das farblose Gemisch wurde tropfenweise so lange mit 5%iger Zinksulfatlösung versetzt, als sich noch eine Trübung bildete. Langsam verdichtete sich diese Trübung beim Stehen zu einem wolkigen Niederschlag, welcher durch Centrifugiren consistenter gemacht und endlich von der Flüssigkeit durch Filtriren getrennt und auf dem Filter gewaschen wurde. Der gut abgesaugte, aber noch feuchte, blaugraue Niederschlag von Zinkhämocyanin wurde durch Beträufeln mit sehr verdünnter Lösung von Natriumcarbonat in Zinkcarbonat umgewandelt, während das in Freiheit gesetzte Hämocyanin mit schöner blauer Farbe in Filtrat ging und alle Reactionen gab, die für Hämocyanin überhaupt bekannt sind.

1) Arbeiten des pharmakol. Instituts zu Dorpat Bd. 9 S. 155. 1893.

An der Hand dieser Methode suchte ich festzustellen, ob im Aplysienblute Spuren von Hämocyanin enthalten sind. Zu der 420 ccm betragenden Coelomflüssigkeit einer Aplysia limacina wurde tropfenweise 5 %ige wässerige Lösung von Zinksulfat gesetzt, bis keine Fällung mehr erfolgte. Der in diesem Falle reinweisse Niederschlag wurde wie vorhin behandelt und auf dem Filter in gleicher Weise zersetzt. Es ergab sich auch nicht eine Spur eines blauen Eiweisskörpers im Filtrate. Damit ist bewiesen, dass das Blut wenigstens dieser Aplysienspecies von Hämocyanin völlig frei ist. Ein zweiter Versuch, wobei 500 ccm Coelomflüssigkeit von Aplysia limacina mit Zinksulfat gefällt wurde, ergab ebenfalls völlige Abwesenheit von Hämocyanin.

Bei einem dritten Versuche kamen 30 ccm Blut einer Maja verrucosa, welche nach Abschneiden des periphersten Gliedes eines Fusses abgetropft waren, zur Verwendung. Nach dem Defibriniren wurde mittelst tropfenweisen Zusatzes von Zinksulfat eine Fällung erzeugt, diese auf dem Filter gesammelt und dann mittelst Zutropfen von 0,5 %iger Lösung von Natriumcarbonat zersetzt. Auch in diesem Falle wurde wie bei Anwendung von Eledoneblut ein blaues Filtrat erhalten und damit bewiesen, dass das Majablut in der That etwas Hämocyanin enthält. Leider war das Filtrat des zersetzten Zinkniederschlages aus mir unbekannten Gründen nicht ganz klar. Da das Majablut neben dem Hämocyanin noch einen rothen Farbstoff enthält, welcher bei der Zinkfällung mitgerissen wird, wird es sich empfehlen, an grösseren Mengen des Blutes, die mir nicht zur Verfügung standen, den Versuch zu wiederholen und zu prüfen, ob sich durch die Zinkmethode eine quantitative Trennung bewerkstelligen lässt. Mir mangelte zu dieser und analogen Untersuchungen des Blutes anderer Thiere leider die Zeit.

Verdünnt man Eledoneblut stark mit Wasser, bis die blaue Farbe verschwindet, und fällt jetzt das Gemisch statt mit Zinksulfat durch tropfenweisen Zusatz von 5 %igem Kupfersulfat, so erhält man einen hellblauen Niederschlag. Dieser wird mit Wasser gewaschen, bis das Filtrat kupferfrei ist. Zersetzt man ihn nun mit 0,5 %iger Lösung von Natriumcarbonat, so erhält man auch hier ein prachtvolles blaues Filtrat, welches im Wesentlichen aus Hämocyanin besteht.

Durch das Vorstehende wird dargethan, dass sich das Hämocyanin aus selbst sehr verdünnten Lösungen nicht nur

durch Zinksulfat, sondern auch durch Kupfersulfat fällen und aus dem Niederschlag ziemlich unverändert wiedergewinnen lässt. Dass es dabei eine Spur Zink bezw. Kupfer beigemischt oder angelagert bekommt, was ich nach Analogie meiner Erfahrungen mit dem Hämoglobin vermuthe, stört den Werth dieser Untersuchungsmethode verdünnter Lösungen und Mischungen des blauen Blutes nicht.

Bei der Analogie des Hämoglobins mit dem Hämocyanin in Bezug auf das Verhalten zu Zinksulfat schien es nicht ausgeschlossen, dass auch im Verhalten zu Zinkstaub eine gleiche Analogie bestehen könne. Schüttelt man nämlich wässerige neutrale, von Methämoglobin freie Lösungen von Blut oder von Hämoglobin energisch mit Zinkstaub, so geht, wie ich[1]) früher dargethan habe, allmählich aller Farbstoff des Blutes an das Zink, und man erhält ein farbloses, hämoglobinfreies Filtrat. Aus dem Niederschlag auf dem Filter lässt sich davon der Blutfarbstoff unter Erhaltung seiner spectralen Eigenschaften wiedergewinnen. Es interessirte mich nun, zu untersuchen, ob etwa das Hämocyanin sich in gleicher Weise werde abscheiden lassen; dies gelang jedoch nicht. Das Verhalten des Hämocyanins zu Zinkstaub ist also ein anderes als zu Zinksulfat.

Von anderen Schwermetallen, deren Salze sich gegen das Hämocyanin eigenartig verhalten, sei noch das Blei erwähnt. Versetzt man eine Hämocyaninlösung tropfenweise mit sehr verdünnter Bleizuckerlösung, so entsteht ein weisser Niederschlag; bei weiterem Zusatz von Bleiacetat löst er sich aber, wie Henze fand, klar wieder auf.

Für den Mediciner dürfte es von Interesse sein, Einiges über das Verhalten einiger Blutgifte zum Hämocyaninblut zu erfahren.

Durchleitung indifferenter Gase durch Eledoneblut wirkt lediglich entfärbend; Kohlensäure bewirkt in grossen Dosen auch eine Trübung, ja unvollkommene Fällung. Zusatz reducirender Substanzen wirkt entfärbend auf Eledoneblut. Kohlenoxyd, in Form von Leuchtgas durchgeleitet, wirkt ebenfalls lediglich entfärbend, verhindert aber die nachträgliche Bläuung durch Sauerstoff nicht. Ein Kohlenoxydhämocyanin existirt also nicht. Ferridcyan-

1) Ueber ein neues Parhämoglobin. Sitzungsber. der Dorpater Naturforscher-Gesellschaft Jahrg. 1891. — Ueber den Nachweis von Fermenten und Giften im Blute. Tageblatt der 64. Naturforscherversammlung, gehalten 1891 zu Halle-S., S. 177.

kalium, welches bekanntlich aus Oxyhämoglobin Methämoglobin macht, verändert nur die Nuance der blauen Farbe des Hämocyanins etwas in's Grünliche; ein besonderes Spectrum tritt nicht auf. Setzt man Blausäure oder Cyankalium in sehr verdünnter Lösung zu Eledoneblut, so wird es sofort entfärbt. Das so entfärbte Blut lässt sich aber nur sehr schwer durch Sauerstoff wieder bläuen. Es scheint also ein Cyanhämocyanin zu geben, welches dem sauerstofffreien Hämocyanin ähnlich sieht, aber sich nur sehr schwer in Oxyhämocyanin umwandeln lässt. Ganz analog ist das Cyanhämoglobin dem sauerstofffreien Hämoglobin in manchen Beziehungen ähnlich, lässt sich aber nur schwer wieder in Oxyhämoglobin umwandeln. Behandelt man das Eledoneblut erst mit Ferridcyankalium und setzt dann Blausäure zu, so tritt ebenfalls Entfärbung und Bildung von Cyanhämocyanin ein. Auch dies entspricht dem Verhalten des Wirbelthierblutes, denn Cyanhämoglobin bildet sich bekanntlich bei Blausäurezusatz nicht nur aus Oxyhämoglobin, sondern auch sehr leicht aus mit Ferridcyankalium behandelten Oxyhämoglobin, d. h. aus Methämoglobin. Zusatz von 3 %igem neutralem Wasserstoffsuperoxyd zu Eledoneblut veranlasst reichliche Entwicklung von Sauerstoffbläschen. Das Hämocyaninblut wirkt also katalytisch auf das Wasserstoffsuperoxyd. Bekanntlich wirkt das Wirbelthierblut ebenso. Man pflegt neuerdings die zersetzende Wirkung von Blut auf Wasserstoffsuperoxyd auf die Anwesenheit eines Enzyms, der Katalase, zu beziehen.

Dies veranlasst mich, einen anderen Versuch hier folgen zu lassen, der durch Anwesenheit eines Enzyms im Blute der Wirbelthiere erklärt zu werden pflegt. Mischen wir eine frisch hergestellte alkoholische Lösung von Guajakonsäure mit Terpentinöl und versetzen das bräunliche Gemisch mit einem Tröpfchen Säugethierblut, so erfolgt ein Farbenumschlag in's Tiefblaue.

Ich überzeugte mich zunächst, dass mein Guajakonsäure-Terpentinöl-Gemisch von Haifischblut und von Zitterrochenblut prompt gebläut wird, und zwar selbst noch, wenn eine recht verdünnte Lösung dieser Blutarten angewandt wurde. Alsdann stellte ich denselben Versuch mit Blut von drei verschiedenen Exemplaren von Eledone an, bekam aber niemals Bläuung. Das gleiche negative Ergebniss erhielt ich mit Aplysienblut. Die die Bläuung der Guajakonsäure bedingende, im Hämoglobinblut enthaltene Oxydase fehlt also dem Hämocyaninblute gänzlich.

Bekanntlich kann man die Guajakonsäure auch zum Blausäure-Nachweis benutzen. Man tränkt Filtrirpapier mit einer sehr dünnen Kupfersulfatlösung, trocknet es und befeuchtet es alsdann von Neuem mit Guajakonsäure-Lösung. Wird ein solches Papier den Dämpfen selbst sehr verdünnter Blausäure ausgesetzt, so färbt es sich augenblicklich tief blau. Ich stellte nun den Versuch in der Weise an, dass ich das Filtrirpapier statt mit sehr dünnem Kupfersulfat mit Hämocyaninblut tränkte. Nach dem Trocknen wurde, ganz wie eben beschrieben worden ist, verfahren. Es erfolgte jedoch selbst durch die Dämpfe relativ concentrirter Blausäure theils keine Bläuung, theils nur eine sehr unvollkommene. Wir können aus diesem Versuche schliessen, dass das Kupfer im Hämocyanin eben doch nicht frei, sondern (locker) gebunden ist und in dieser gebundenen Form nicht wie ein einfaches Kupfersalz zu wirken im Stande ist.

Bekanntlich haben Marchlewski einerseits und Nencki andererseits gezeigt, dass die Spaltungsproducte des Hämoglobins mit denen des Chlorophylls grosse Verwandtschaft haben, ja, in einander übergeführt werden können. Unter solchen Umständen liegt der Gedanke nahe, zu versuchen, ob sich etwa eines der Zersetzungsproducte des Hämoglobins aus Hämocyanin gewinnen lässt.

Zu diesem Behufe versuchte ich zunächst mit Hülfe der Acetonmethode aus Eledoneblut Nencki'sche Hämatinkrystalle darzustellen. Ich habe diese Methode für Wirbelthierblut durch meinen Schüler H. U. Kobert[1]) nachprüfen lassen und verweise auf die mit instructiven Abbildungen versehenen eingehenden Angaben des Genannten. Ich bekam aus Eledoneblut mit Hülfe dieser Methode aber niemals Nencki'sche Hämatinkrystalle. Ebenso war es mir, wie auch schon früheren Untersuchern, unmöglich, Teichmann'sche Häminkrystalle aus Eledoneblut darzustellen. Damit ist bewiesen, dass der Hämatincomplex im Hämocyaninmolekül nicht enthalten ist.

Ich prüfte nun weiter, ob etwa wenigstens mit Hülfe der Schwefelsäuremethode sich Hämatoporphyrin aus Hämocyanin darstellen lässt.

Zu diesem Behufe dunstete ich Eledoneblut bei niederer Tem-

1) Das Wirbelthierblut in mikrokrystallographischer Hinsicht. Mit 26 Abbildungen im Text (Stuttgart 1901), S. 71—74.

peratur vorsichtig zur Trockne ein, verrieb den pulverisirten Trockenrückstand mit conc. Schwefelsäure und filtrirte nach längerem Stehen durch Glaswolle und Asbest. Das dabei gewonnene Filtrat hat weder die rothe Farbe des Hämatoporphyrins, noch gab es vor dem Spectralapparat ein Absorptionsspectrum. Damit ist sicher dargethan, dass auch der Hämatoporphyrincomplex im Hämocyanin nicht enthalten ist. Von irgend welcher nahen chemischen Verwandtschaft des Hämocyanins mit dem Hämoglobin kann also gar nicht die Rede sein. Dies ist desshalb sehr auffällig, weil es ganz nahe verwandte Thiere gibt, von denen das eine Hämoglobin, das andere aber Hämocyanin enthält.

5. Ueber Hämocyaninkrystalle.

Da ausser Henze noch Niemand Hämocyaninkrystalle dargestellt hat, und da dieser zu seinen Versuchen lediglich Octopusblut verwendet hat, schien es mir von Interesse, auch das Eledoneblut auf Hämocyaninkrystalle zu verarbeiten. Wissen wir doch von den Säugethieren, dass der Blutfarbstoff sehr naher Verwandter ganz verschieden krystallisiren kann. Es musste daher das Eledoneblut für sich untersucht werden. Ich habe dies zu wiederholten Malen gethan und verfuhr dabei stets auf folgende Weise.

Das unverdünnte, nach der S. 414 besprochenen Methode gewonnene Blut einer grossen Eledone moschata wird centrifugirt, filtrirt und das Filtrat mit so viel gesättigter Ammonsulfatlösung versetzt, bis eben ein Niederschlag sich zu bilden anfängt. Nun wird durch einige Tröpfchen sehr verdünnter Essigsäure, unter Rühren zugesetzt, die Trübung wieder beseitigt und nun von Neuem Ammonsulfatlösung bis zur bleibenden Trübung zugesetzt. Jetzt liess ich das nur mit einem Filtrirpapier bedeckte Gefäss (Becherglas) 12 Stunden ruhig stehen. Während dieser Zeit hatte die Krystallbildung begonnen, und nach zwei Tagen war ein graublauer Brei von Krystallen, deren Formen weiter unten beschrieben werden sollen, vorhanden. Von diesem Brei wurde, um Dauerpräparate zu gewinnen, auf Deckgläschen je eine kleine Menge gestrichen. Nach dem Trocknen an der Luft wurden die Gläschen durch die Flamme gezogen und dadurch die Krystalle denaturirt und fixirt. Das die Krystalle begleitende Ammonsulfat wurde mittelst destillirten Wassers weggewaschen, während die Krystalle jetzt ja nicht mehr in Wasser

löslich sind und daher auf dem Deckglas blieben, falls sie nicht mechanisch abgelöst und weggeschwemmt wurden. Um sie besser sichtbar zu machen, wurde auf die wieder getrockneten Deckgläschen je ein Tropfen wässeriger 1 %iger Methylenblaulösung getropft und der Ueberschuss nach zwei Minuten mittelst destillirten Wassers abgespült. Nun wurde nochmals an der Luft getrocknet, nochmals durch die Flamme gezogen und sogleich mittelst Canadabalsam Dauerpräparate hergestellt. Dieselben sind für schwache Vergrösserung ganz brauchbar; bei starker sieht man natürlich, dass bei der Erhitzung die Feinheit der Formen Einbusse erlitten hat. Der Eindruck ist dabei etwa derselbe, welchen Hämoglobinkrystalle nach langem Aufbewahren in Canadabalsam machen: die Kanten, Ecken und Spitzen sind durchweg unscharf geworden. Zum Photographiren sind solche denaturirte gefärbte Präparate wenig geeignet. Aber auch frische, nicht denaturirte Krystalle sind sehr schwer zu photographiren, weil sie fast farblos sind.

Im Gegensatz zu den nach der Henze'schen Methode gewonnenen, an sich sehr blassen, ja farblosen Krystallen steht eine andere Art von Hämocyaninkrystallen, welche ich ohne Anwendung von Ammonsulfat nach eigener Methode erhielt. Ich strich das möglichst frische, centrifugirte und klar filtrirte Blut einer Eledone auf Glasplatten oder Urgläser und brachte diese bei 35—40° C. für so lange in den Trockenschrank, bis das anfangs dünnflüssige Blut durch Wasserverlust dickflüssiger geworden war. Das Eintrocknen der Ränder wurde durch oftmaliges Neigen der Platten nach den Seiten zu nach Möglichkeit vermieden. Von der dickflüssigen, zur Käntchenbildung neigenden dunkelblauen Blutmasse brachte ich nun einzelne Tropfen auf Objektträger, bedeckte sie rasch mit Deckgläsern und studirte Stunden lang unter dem Mikroskop die langsam vor sich gehende Eintrocknung. Da das Blut der Cephalopoden nach Henze fast nur aus einer Wasserlösung des Hämocyanins besteht, so ist klar, dass beim Eintrocknen eigentlich fast nur Hämocyaninkrystalle auftreten können. Thatsächlich erstarrt auch das Ganze, falls man nicht zu lange im Trockenschrank entwässert hat, zu einem Brei von Krystallen. Dieselben haben jedoch verschiedene Formen und verschiedene Farbe und dürften wohl kaum alle einheitlich zusammengesetzt sein. Diejenigen jedoch, welche Tage lang eine deutlich blaue Farbe behielten, halte ich mich für berechtigt, als

Hämocyaninkrystalle anzusprechen, namentlich da sie auch bei Zusatz von Kalilauge Biuretfärbung annahmen. Sie sind endlich, wie auch Prof. P. Mayer sich überzeugen konnte, doppelbrechend. Zu Dauerpräparaten lassen sie sich leider nicht umwandeln. Ich habe dieselben wohl zwölf Mal erzeugen können, aber merkwürdiger Weise nie in den für die Henze'schen Krystalle charakteristischen, sehr complicirten Formen, sondern stets in einfacheren. Am häufigsten sah ich sie in relativ grossen, rechteckigen Stäbchen und Platten, seltener in Drusen, die aus sehr kleinen, offenbar regulären Einzelkrystallen bestanden, auftreten. Im Gegensatz dazu neigte ich von vornherein der Meinung zu, die nach der Henze'schen Methode gewonnenen Kristalle gehörten nicht in eines der unregelmässigen Krystallsysteme. Herr Prof. O. Luedecke in Halle, einer der hervorragendsten Krystallographen, war so liebenswürdig, meine nach der Henze'schen Methode gewonnenen Originalkrystalle einer genaueren krystallographischen Prüfung zu unterziehen, und ist dabei zu dem Ergebnis gekommen, dass sie doch optisch einachsig und positiv, wahrscheinlich hexagonal sind. Ich sage ihm für seine Bemühungen hierdurch meinen besten Dank. Uebrigens hatte Prof. Luedecke dies Ergebniss schon auf Grund des Studiums der meisten in Tafel VI, Fig. 1—7 wiedergegebenen Krystallphotogramme vorausgesagt. Diese Photogramme hatte Professor O. v. Schroen in Neapel die Liebenswürdigkeit, nach meinen frischen Präparaten für mich mit bekannter Meisterschaft anzufertigen. Für die grosse darauf verwandte Mühe sei auch ihm hierdurch bestens gedankt. Einige der durch Einengen des Blutes gewonnenen sehr einfachen Krystalle war Prof. P. Mayer so liebenswürdig, für mich mit dem Zeichenprisma zu zeichnen. Sie sind in Fig. 8 der Tafel VI wiedergegeben.

6. Wirkung des Hämocyanins auf Warmblüter.

Die Veranlassung, mich mit dem Hämocyanin zu beschäftigen, gab mir meine sich durch viele Jahre hinziehende Untersuchung über Giftspinnen[1]). Ich habe nachweisen können, dass der wässerige Auszug des Körpers z. B. der Kreuzspinne, auch wenn die Giftdrüse

---

1) Beiträge zur Kenntniss der Giftspinnen. Mit 14 Figuren im Text. Stuttgart 1901.

vorher entfernt worden war, sehr erhebliche Giftwirkungen bei Warmblütern hervorruft. Da nun das Spinnenblut Hämocyanin enthält, und da dieses natürlich in den wässerigen Auszug übergeht, war es für mich ein Bedürfniss, auch einmal das Hämocyanin an sich an Warmblütern zu prüfen. Diese Versuche wollte ich gerade mit dem Hämocyanin der Cephalopoden anstellen, weil dieses von fremden Substanzen frei ist. Meine Versuche konnten sich jedoch auf einige wenige beschränken, da ich in Neapel einen Collegen, Herrn Prof. v. Dungern, vorfand, der zu anderen Zwecken zahlreiche Hämocyanininjectionen in die Ohrvene von Kaninchen bereits vorgenommen hatte und vor meinen Augen noch weitere vornahm. Danach muss ich das Hämocyanin bei einmaliger Einspritzung selbst mehrerer Kubikcentimeter als für Kaninchen ungiftig erklären. An der Giftwirkung des wässerigen Auszuges von Lathrodectes und von Epeira hat das darin befindliche Hämocyanin also sicher keinen wesentlichen Antheil.

Literatur.

P. Bert, Mémoire sur la physiologie de la Seiche. Mém. de la Soc. d. sc. d. Bordeaux t. 5 p. 120. 1867. Ferner: Leçons sur la phys. comp. de la respiration.

E. v. Bibra, siehe Harless.

G. Carus, Von den äusseren Lebensbedingungen der weiss- und kaltblütigen Thiere. Leipzig 1824.

L. Cuénot, Étude sur le sang et les glandes lymphatiques dans la série animale (Invertébrés). Arch. zool. exp. (2) t. 9 p. 13. 1891.

L. Cuénot, Études physiologiques sur les Gastropodes pulmonés. Arch. Biol. t. 12 p. 683. 1892.

L. Cuénot, La valeur respiratoire de l'hémocyanine. Compt. rend. de l'Acad. d. sc. t. 115 p. 127. 1892.

L. Cuénot, La valeur respiratoire du liquide cavitaire chez quelques invertébrés. Université de Bordeaux, Société scientifique et Station zoologique d'Arcachon. Travaux des Laboratoires, année 1900—1901 p. 107. Paris 1902.

Ch. Dhéré, Le cuivre hématique et la capacité respiratoire de l'hémocyanine. Compt. rend. de la Soc. Biol. t. 52 p. 458. 1900.

H. Dohrn, Analecta ad historiam naturalem Astaci fluviatilis. Dissert. inaug. Berolini 1861.

R. Dubois, Sur le cuivre normal dans la série animale. Compt. rend. de la Soc. Biol. t. 52 p. 392. 1900.

Ermann, Wahrnehmungen über das Blut der Mollusken. Abhandlung d. kgl. Akad. d. Wissensch. S. 199. Berlin 1816—1817.

L. Frédéricq, Sur l'organisation et la physiologie du poulpe. Bull. de l'Acad. roy. de Belg. (2 sér.) 46 Nr. 11. 1878 und 47 Nr. 4. 1879.

L. Frédéricq, Recherches sur la physiologie du Poulpe commun. Arch. de la Zoologie exp. (1) t. 7 p. 535. 1878.

L. Frédéricq, Sur l'hémocyanine, substance nouvelle du sang du Poulpe. Compt. rend. de l'Acad. d. sc. t. 87 p. 996. 1878. t. 115 p. 61. 1892.

L. Frédéricq, Sur la conservation de l'hémocyanine. Arch. de la Zoolog. t. 9 p. 124. 1891.

L. Frédéricq, La physiologie de la Branchie et la pression osmotique du sang de l'écrevisse. Bullet. de l'Acad. belg. t. 35 p. 831. 1898.

L. Frédéricq, Note sur le sang de l'écrevisse. Livre jubilaire dédié à Ch. van Bambeke p. 281. Bruxelles 1899.

F. A. Genth, Ueber die Aschenbestandtheile des Blutes von Limulus Cyclops. Annalen Chem. u. Pharm. Bd. 81 S. 68. 1852.

Gorup-Besanez, Lehrbuch der physiol. Chem. 2. Aufl. S. 117. 1867.

Gotch and Laws, On the blood of Limulus Polyphemus. Report of the 54th Meeting of the British Assoc. for the advance of sc. p. 774. 1885.

W. Griesbach, Ueber das Blut acephaler Mollusken. Verhandl. d. Gesellsch. Deutscher Naturforscher u. Aerzte Bd. 63 S. 131. 1891.

Griffiths, On the blood of Invertebrates. Proceed. roy. soc. of Edinburgh vol. 18 p. 288. 1890—1891. vol. 19 p. 127. 1892.

Griffiths, Physiology of Invertebrates p. 137. London 1892.

Griffiths, Sur la composition de l'hémocyanine. Compt. rend. de l'ac. de sc. t. 114 p. 496. 1892.

Griffiths, Respiratory Proteids p. 24. London 1897.

Halliburton, On the blood of Decapod Crustacea. Journal of Physiol. vol. 6 p. 300. 1885.

Halliburton-Kaiser, Lehrbuch der chem. Phys. u. Pathol. S. 338. 1893.

Harless, Ueber das blaue Blut einiger wirbellosen Thiere und dessen Kupfergehalt. Müller's Arch. Jahrg. 1847 S. 148.

Haycraft and Carlier, On invertebrate blood, removed from the vessels and entirely surroundet by oil. Proceedings of the roy. soc. of Edinburgh vol. 15 p. 423. 1889.

F. Heim, Sur la matière colorante bleue du sang des Crustacés Decapodes. Thèse de Paris 1892 und Compt. rend. des séances de l'Acad. d. sc. t. 114 p. 771. 1892.

M. Henze, Zur Kenntniss des Hämocyanins. Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 33 S. 370. 1901.

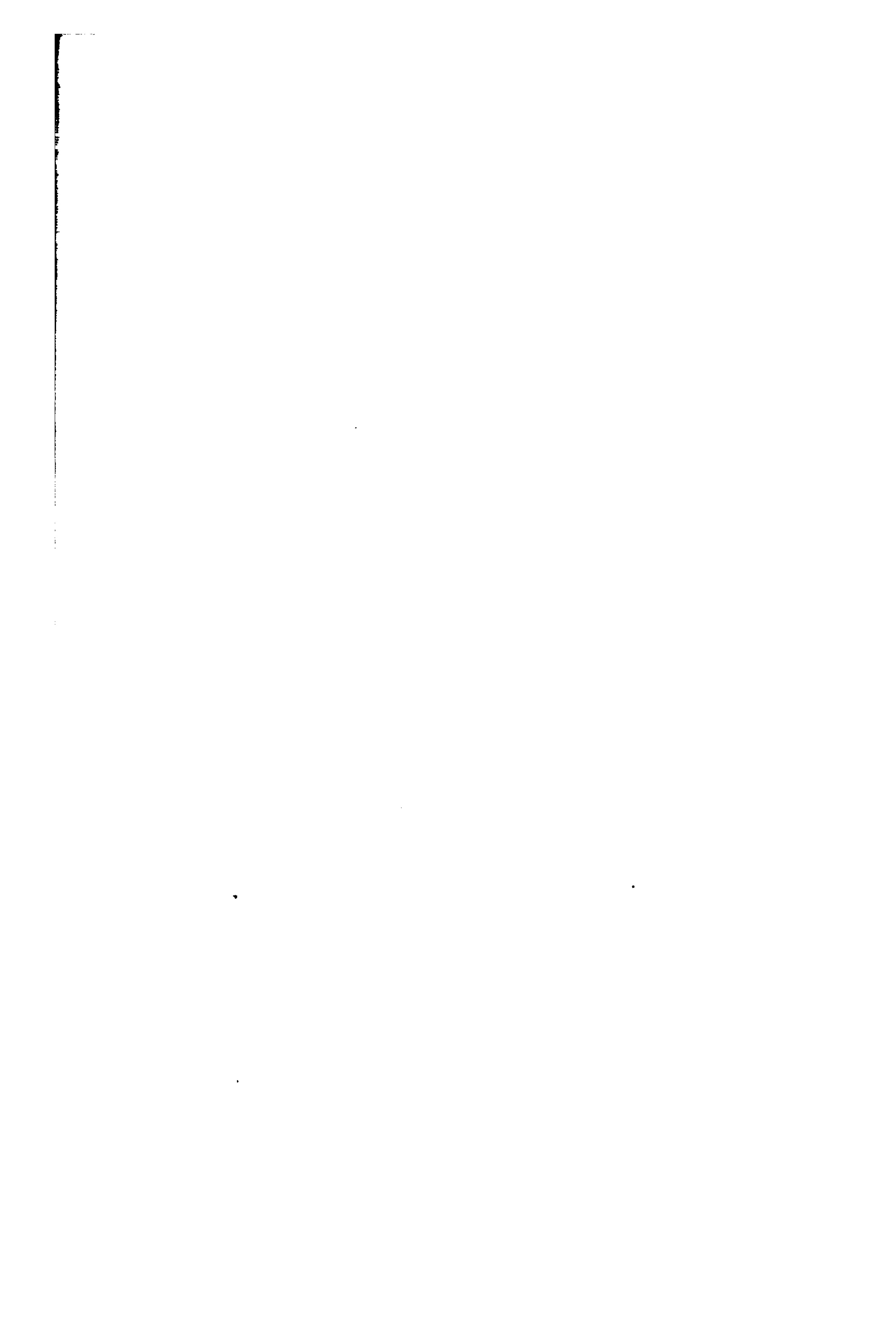
Hertwig, Lehrbuch der Zoologie 3. Aufl. 1900 S. 324, 331 u. 399.

Howell, Observations upon the chemical composition and coagulation of the blood of Limulus polyphemus, Callinectes hastatus and Cucumaria sp. John Hopkins Univ. Circular t. 5 p. 4. 1885.

Jolyet et Regnard, Recherches sur la respiration des animaux aquatiques. Archives de Physiol. (2 sér.) t. 4 p. 584. 1877.

Jollyet et Viallanes, Contributions à l'étude du sang et sa circulation chez les Arthropodes. Travaux des laboratoires d'Arcachon 1895 p. 13.

Krukenberg, Vgl. physiol. Beiträge zur Kenntniss der Respirationsvorgänge bei Wirbellosen. Vgl. physiol. Studien I. Reihe 3. Abth. 1880 S. 66.



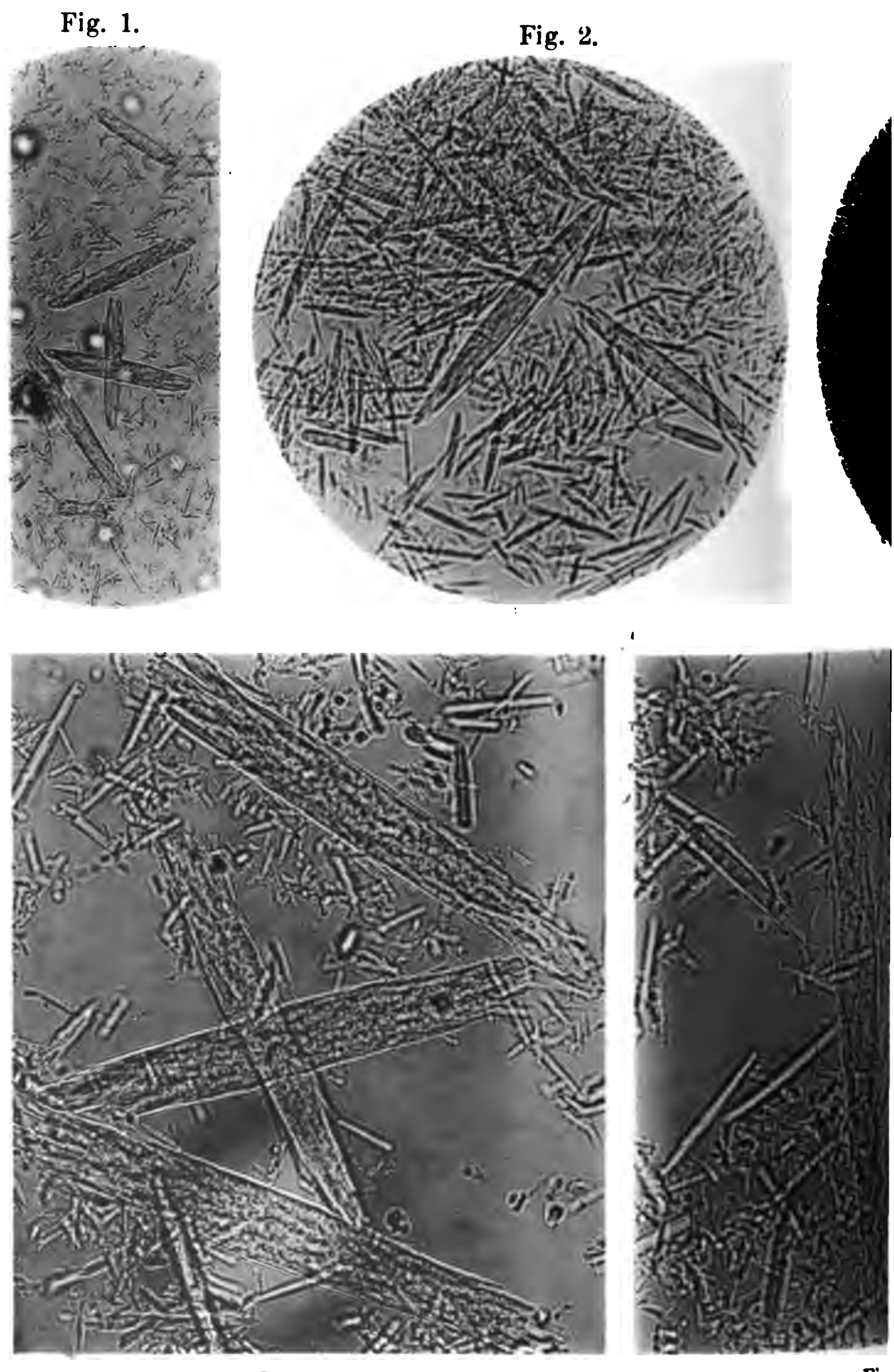


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 5.

Fig

ömmler & Jonas, Dresden.

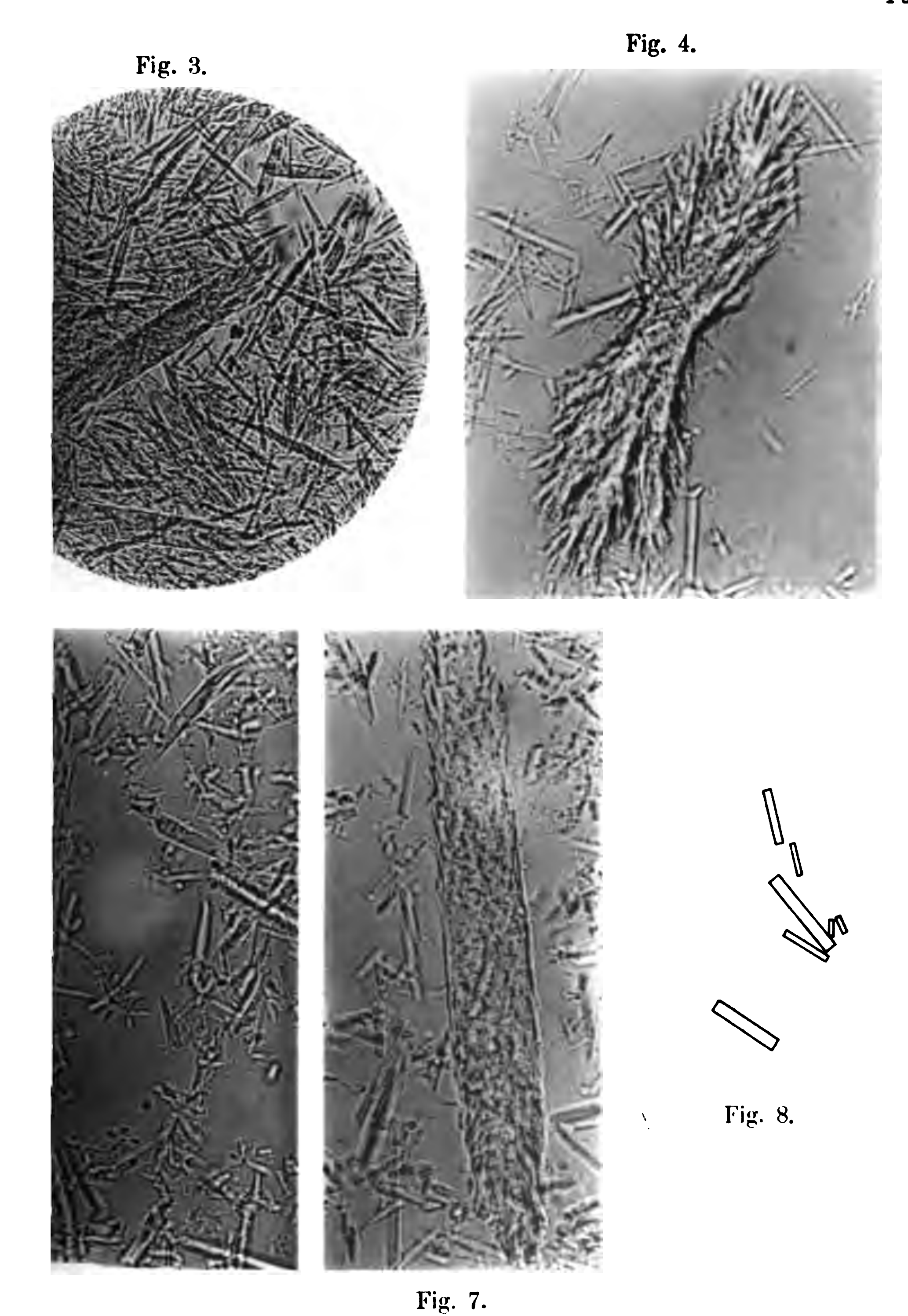


Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 7.

Fig. 8.



Krukenberg, Weitere Beiträge zum Verständniss und zur Geschichte der Blutfarbstoffe bei den wirbellosen Thieren. Vgl. physiol. Studien I. Reihe, 5. Abth. S. 49. 1881.

Krukenberg, Zur vergl. Physiologie der Lymphe, der Hydro- und Hämolymphe. Vgl. physiol. Studien II. Reihe, 1. Abth. S. 87. 1882.

Krukenberg, Zur Kenntniss des Hämocyanins. Vgl. physiol. Studien II. Reihe, 1. Abth. S.182 1882.

Mac-Munn, On the chromatology of the blood of some Invertebrates. Quarterly Journal of microsc. sc. vol. 25 p. 469. 1885.

Mourson et Schlagdenhauffen, Nouvelles recherches chimiques et physiologiques sur quelques liquides organiques. Compt. rend. d. l'acad. d. sc. t. 95 p. 791. 1882.

C. Phisalix, Observation sur le sang de l'escargot; réduction de l'hémocyanine. Cinquantenaire de la soc. d. biol., vol. jubilaire. Paris 1899 (t. 52) p. 729.

Rabuteau et Schlossberger, Observations sur quelques liquides de l'organisme des Poissons, des Crustacés et des Céphalopodes. Compt. rend. de l'Acad. d. sc. t. 77 p. 135. 1873.

Schlossberger, Ueber das Blut der Cephalopoden. Annal. der Chemie und Pharm. Bd. 102 S. 86. 1857.

Siegert, Ueber die chem. Zusammensetzung von Schneckenblut. Berichte der naturw. Gesellsch. zu Chemnitz (4) S. 69. 1873.

E. Witting, Ueber das Blut einiger Crustaceen und Mollusken. Zeitschr. f. prakt. Chem. Bd. 73 S. 121. 1858.

Erklärung zu Tafel VI.

Sämmtliche Figuren sind nach frischen, von mir dargestellten Präparaten von Prof. v. Schroen in dessen Privatlaboratorium photographirt; nur Fig. 8 ist mit dem Zeichenprisma von Prof P. Mayer gezeichnet.

Fig. 1. Vergrösserung 1 : 185.
Fig. 2. „ 1 : 750.
Fig. 3. „ 1 : 375.

Man sieht, dass die Krystalle an beiden Enden vielfach sich spalten können.

Fig. 4. Vergrösserung 1 : 750. Bildung von Lictorenbündeln. Gerade diese Form habe ich oft auftreten sehen.

Fig. 5. Vergrösserung 1 : 700
Fig. 6. „ 1 : 750
Fig. 7. „ 1 : 750
} Einzelne grössere Krystalle von charakteristischer Form.

Fig. 8. „ 1 : 380. DD. III.

Während Fig. 1—7 sich auf Krystalle beziehen, welche nach der Henze-schen Methode dargestellt sind, gibt diese Figur Krystalle wieder, welche nach meiner eigenen Methode gewonnen worden sind. Dieselben sind, wie oben gesagt wurde, nicht photographirt, sondern gezeichnet.

Anhang: Einige Notizen über Hämerythrin.

Das Muskel- und Nervensystem des in Neapel bequem zugängigen, im Sande des Meeres lebenden Wurms Sipunculus nudus ist durch v. Uexküll und Magnus auf's Genaueste untersucht und gezeigt worden, dass dieses Thier berufen ist, in der experimentellen Physiologie und Pharmakologie dem Frosche als Versuchsthier Concurrenz zu machen. Auch das Blut oder, richtiger gesagt, die Coelomflüssigkeit der ganzen Gruppe der Sipunculiden bietet viel Interessantes, und zwar sowohl chemisch als morphologisch. Diese Flüssigkeit ist ungemein reich an Formelementen. Zwei dieser Formelemente bieten dem Aussehen nach für uns Mediciner Bekanntes; wir erkennen sie als rothe und weisse Blutkörperchen. Um so unbegreiflicher erscheint uns auf den ersten Blick das dritte Formelement: die sogen. Töpfchen und Urnen. Es sind flimmerbesetzte, sich lebhaft frei bewegende Gebilde, und fielen dadurch schon 1851 Krohn auf, der sie für Parasiten hielt und zu der Classe der Infusorien rechnen zu müssen meinte. Keferstein und Ehlers erkannten, dass es sich nicht um Parasiten, sondern um normale Elemente des Organismus handelt, eine Ansicht, welcher auch Brandt, Ray-Lancaster und Cuénot beitraten, während Vogt & Jung, Fabre, Damerque, Wagner und andere an der parasitären Natur festhielten. Endgültig widerlegt ist die parasitäre Auffassung erst in letzter Zeit von Metalnikoff, der die Entwicklungsgeschichte der Urnen studirte. Nach ihm sind es aus Ausstülpungen der Gefässwand hervorgehende freigewordene eigenartige Flimmerzellen, welche lediglich die Aufgabe haben, Bewegung der Coelomflüssigkeit herbeizuführen, auch wenn das Thier bewegungslos im Sande liegt.

Weitere Elemente der Coelomflüssigkeit weiblicher Sipunculi sind Eier. Bei den Männchen findet man statt deren Spermogemmen, d. h. Mutterzellen der Spermatozoen.

Neben diesen Gebilden sind also auch, wie schon erwähnt wurde, rothe und weisse Blutkörperchen vorhanden. Das Vorhandensein von Leukocyten nimmt uns bei Würmern nicht Wunder, wohl aber das der rothen. G. Schwalbe äusserte sich 1869 darüber folgendermaassen: „Während man bis jetzt annahm, dass die Blutkörperchen wirbelloser Thiere den farblosen Zellen des Blutes höherer Thiere gleichen, fanden sich im Blute des Sipunculiden Phascolo-

soma zwei Arten von Blutkörperchen, deren eine den bei den Wirbellosen gewöhnlich vorkommenden farblosen protoplasmatischen Zellen gleichzusetzen ist, während die überwiegende Mehrzahl der zelligen Elemente des Blutes in allen wesentlichen Verhältnissen eine merkwürdige Uebereinstimmung mit den farbigen kernhaltigen Blutkörperchen der niederen Wirbelthiere zeigt." Die Gestalt dieser rothen Blutkörperchen ist, von der Fläche gesehen, vollkommen rund. Der Durchschnitt zeigt, dass sie biscuitförmige Scheiben sind. Sie sind bewegungslos, können nach Metalnikoff aber in seltenen Fällen amöboid werden. Sie bestehen im venösen Zustande aus vollkommen durchsichtigem, von einer Hülle umgebenem Protoplasma mit einem centralen Kern und einigen Vacuolen. Im sauerstoffhaltigen Zustande sehen sie intensiv roth bezw. rothbraun aus, haben also nicht den gelbrothen Farbenton, welcher unsere rothen Blutkörperchen auszeichnet. Die ersten physiologisch-chemischen Versuche damit scheint Krukenberg gemacht zu haben. Er entnahm dem Sipunculus nudus Coelomflüssigkeit und liess sie sich absetzen. Die unterste Schicht bestand aus Geschlechtsproducten; dann folgte eine Schicht Blutkörperchen; darüber kam das Serum. Ich habe Dutzende von Malen diesen Versuch wiederholt. Der Brei der rothen Körperchen bezw. deren Lösung in destillirtem Wasser wird beim Stehen oder beim Durchströmen mit indifferenten Gasen farblos und bei Sauerstoffzufuhr wieder roth. Im Gegensatz zum Hämocyaninblut sah ich es niemals beim Stehen über Nacht roth bleiben; es findet also wie beim Wirbelthierblut eine Sauerstoffzehrung statt. Krukenberg nannte den rothen Farbstoff Hämerythrin und den farblosen Hämerythrogen. Analoger zu den übrigen Farbstoffen ist es, den rothen „Oxyhämerythrin" und den farblosen „reducirtes Hämerythrin" zu nennen. Wenn Griffiths das Wort durchweg in Hermerythrin umwandelt, so ist dies eine Verballhornisirung. Beide zusammen sind als Hämerythrin ohne weiteren Zusatz zu bezeichnen. Wie schon Krukenberg fand und ich durch viele Versuche bestätigen kann, ist das durch Centrifugiren gewonnene Serum des Sipunculusblutes farblos und bleibt auch bei energischer Arterialisation so; das Hämerythrin findet sich also im Gegensatz zu den Blutfarbstoffen der meisten Wirbellosen thatsächlich ausschliesslich in den (rothen) Blutkörperchen. Das Hämerythrin findet sich bei sämmtlichen Species von Sipunculus,

bei Phascolosoma und wohl auch bei Phymosoma. Wie ich einem Citat bei Fürth entnehme, ist Benham der Ansicht, dass auch das krapprothe Blut der zu den Anneliden gehörigen Magelona Hämerythrin enthält. Von der Gattung Sipunculus sind namentlich die drei Arten S. nudus, S. tesselatus und S. Gouldii untersucht. Krukenberg gibt an, dass er beim Verreiben der Blutkörperchen von Sipunculus nudus mit destillirtem Wasser den Farbstoff nicht habe in Lösung überführen können. Nach Andrews, Cuénot sowie nach meinen eigenen Untersuchungen ist diese Angabe irrig; vielmehr lösen sich die rothen Blutkörperchen der Sipunculiden in destillirtem Wasser gerade so leicht wie die des Säugethierblutes. Diese Lösung zeigt im Gegensatz zum Hämoglobin weder bei Anwesenheit noch bei Abwesenheit von Sauerstoff ein charakteristisches Absorptionsspectrum.

Zur Reindarstellung des Hämerythrins verfuhr ich nach dem Vorgange von Cuénot folgendermaassen. Die bei Einschnitt mit der Scheere in die Bauchwand weiblicher Exemplare von Sipunculus nudus hervorstürzende Coelomflüssigkeit, welche so gut wie keine Fibringerinnung zeigt, wird sofort in ein möglichst enges Reagenzglas gebracht, wo sich die Eier rascher zu Boden senken als die Blutkörperchen. Männliche Exemplare sind weniger gut brauchbar, weil die Spermogemmen nicht so rasch sich absetzen. Sogleich nach dem Absetzen der Eier pipettirt man die darüber stehende, die neben wenigen Eiern hauptsächlich Urnen und Blutkörperchen in Suspension haltende Flüssigkeit ab und centrifugirt, bis oben klares Serum und unten eine scharf abgegrenzte rothbraune Schicht sich abgesetzt hat. Nun hebt man vorsichtig das Serum ab, löst die braune Schicht in möglichst wenig destillirtem Wasser und entfernt durch neues Centrifugiren die Schatten, die Urnen und den Rest der Eier. So erhält man eine intensiv rothbraun gefärbte klare Lösung, die beim Verdunsten im Vacuum oder im Trockenschrank bei 35—40° C. relativ reines Hämerythrin liefert. Cuénot fand darin 1,44 % Eisen, also viel mehr als im Hämoglobin. Durch Aussalzen mit Ammonsulfat lässt sich das Hämerythrin aus seiner wässerigen Lösung ausfällen. Meine Versuche, es dabei zur Krystallisation zu bringen, kann ich leider noch nicht als abgeschlossen betrachten. Von früheren Autoren hat nur Cuénot eine auf Krystallisation bezügliche Angabe, und zwar sah er intraglobuläre Krystallbildung, was mir bisher nicht geglückt ist.

Die klare Lösung des reinen Hämerythrins enthält das Eisen viel weniger fest gebunden als eine Hämoglobinlösung. Setzt man verdünntes Schwefelammonium tropfenweise zu, so tritt zunächst Venöswerden, d. h. Entfärbung, ein. Aber schon das Einsetzen dieser entfärbten Lösung in den Brüteschrank bei 35—40° genügt, um nach einigen Stunden Schwarzgrünfärbung durch Schwefeleisenbildung hervorzurufen. Auch an Säuren wird das Eisen des Hämerythrins leichter abgegeben als das des Hämoglobins. Die Bindung des Metalles im Hämerythrin ist offenbar eine ebenso lockere wie die des Kupfers im Hämocyanin. Im Hämoglobin ist die Metallbindung eine festere.

Während Lösungen des Hämocyanins durch Blausäure oder Cyankalium sofort entfärbt werden, ist dies beim Hämerythrin nicht der Fall; ein sich in der Farbe vom Oxyhämerythrin unterscheidendes Cyanhämerythrin scheint also nicht zu existiren.

Zusatz eines Körnchens Ferridcyankalium zu Hämerythrinlösungen wirkt entfärbend; ein besonderes Spectrum tritt dabei nicht auf. Ein besonders gefärbtes Methämerythrin gibt es also nicht. Blausäurezusatz zu dem mittelst Ferridcyankalium entfärbten Hämerythrin ändert an der Färbung nichts.

Die Darstellung Teichmann'scher Krystalle gelingt, wie schon frühere Autoren fanden, nicht. Auch die oben (S. 421) erwähnten Nencki'schen Krystalle lassen sich mittelst Aceton und Salzsäure nicht darstellen. Damit ist bewiesen, dass ein dem Hämatin entsprechender Complex im Hämerythrin nicht enthalten ist. Ebensowenig gelang es mir, dementsprechend durch Behandeln mit Cyankalium und Schwefelammon Hämochromogen aus Hämerythrin darzustellen. Da ich beim Behandeln des Hämerythrins mit concentrirter Schwefelsäure auch kein Hämatoporphyrin bekam, ist bewiesen, dass auch dieser Complex im Hämerythrin nicht enthalten ist. Hämoglobin und Hämerythrin sind also chemisch nicht mit einander nahe verwandt. Bisher wurde diese Verwandtschaft wenigstens vermuthungsweise angenommen. Daher führt auch das Werk von O. v. Fürth das Hämerythrin noch 1903 unter den Farbstoffen der Hämatinreihe auf. Für das Echinochrom der Seeigel und das Chlorocruorin der Chätopoden scheint dieser Zusammenhang in der That erwiesen zu sein.

Während sich Hämoglobin selbst aus sehr verdünnten wässerigen Lösungen durch Zinkstaub und namentlich durch Zinksulfat ausfällen lässt (vgl. S. 417), ist dies beim Hämerythrin nicht der Fall.

Wasserstoffsuperoxyd wird, wie von Hämocyaninlösung, so auch von Hämerythrinlösung unter Schäumen zersetzt, während klares, hämerythrinfreies Sipunculusserum nicht katalytisch wirkt.

Ein Gemisch von alkoholischer Guajakonsäurelösung und von Terpentinöl wird von Hämerythrin ebensowenig gebläut als vom Hämocyanin, während Hämoglobin diese Bläuung sofort bewirkt. Die Oxydation der Guajakonsäure zu Guajakonblau wird vom Hämerythrin wohl desshalb nicht ausgeführt, weil ihm, wie dem Hämocyanin, die dazu nöthige Oxydase fehlt. Ich war über diesen Befund sehr überrascht, habe daher den Versuch mehrfach angestellt, aber stets mit demselben negativen Erfolge.

Es schien mir weiter von Interesse, das Verhalten der rothen Blutkörperchen zu hämolytischen und zu agglutinirenden Giften zu prüfen. Als Repräsentanten der Hämolytica wählte ich das Cyclamin. In der That löst dasselbe die rothen Sipunculusblutkörperchen noch bei mehr als 500facher Verdünnung prompt auf. Dagegen konnte ich mit Abrin und Ricin, deren agglutinirende Eigenschaften seiner Zeit von mir entdeckt worden sind, und die ich als Repräsentanten der agglutinirenden Gifte wählte, bei keinem einzigen Versuche eine Verklebung der Sipunculusblutkörperchen erzielen. Ich muss daraus schliessen, dass das Stroma der rothen Sipunculusblutkörperchen wesentlich anders zusammengesetzt ist als das der rothen Blutkörperchen der Wirbelthiere; die Agglutination hat nämlich mit dem Blutfarbstoff nichts zu thun, sondern kommt zu Stande durch eine Umwandlung der Stromasubstanz. Eine schädliche Einwirkung des Abrins und Ricins war nur insofern vorhanden, als beide die rothe Farbe des Sipunculusblutes sofort zum Verschwinden brachten, so viel ich das Gemisch auch mit Luft schüttelte.

Literatur.

G. Schwalbe, Beiträge zur Kenntniss des Blutes wirbelloser Thiere. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 5 S. 248. 1869.

Krukenberg, Vgl.-physiol. Beiträge zur Kenntniss der Respirationsvorgänge bei wirbellosen Thieren; Blutfarbstoffe der Würmer. Vgl.-physiol. Studien I. Reihe, 3. Abth. S. 66. 1880.

Krukenberg, Weitere Beiträge zum Verständniss und zur Geschichte der Blutfarbstoffe bei Wirbellosen. Vgl.-phys. Studien I. Reihe, 5. Abth. S. 49. 1881.

Krukenberg, Zur vergl. Physiologie der Lymphe, der Hydro- u. Hämolymphe. Vgl. phys. Studien II. Reihe, I. Abth. S. 87. 1882.

Selenka, Die Sipunculiden. Semper's Reisen im Archipel der Philippinen Bd. 4. 1883.

E. A. Andrews, Notes on the bodycavity liquide of Sipunculus Gouldii. Johns Hopkins' Univ.-Circular 9, 1890 p. 65.

A. B. Griffiths, L'Hermerythrine, pigment respiratoire contenu dans le sang de certains verms. Compt. rend. d. l'Ac. d. sc. t. 115 p. 419 u. 669. 1892.

Benham, The blood of Magelona. Quart. Journ. Micr. Sc. vol. 39 p. 1. 1896.

J. A. Velichi, Quantitative Spectralanalyse der rothen Blutkörperchen bei wirbellosen Thieren. Dissert. Berlin 1900.

S. Metalnikoff, Sipunculus nudus. Zeitschr. f. wissenschaftl. Zool. Bd. 68 S. 310. 1900.

L. Cuénot, La valeur respiratoire du liquide cavitaire chez quelques invertébrés. Université de Bordeaux, Société scientifique et Station zoologique d'Arcachon. Travaux des Laboratoires année 1900—1901 p. 112. Paris 1902.

O. v. Fürth, Vgl. chem. Physiologie der niederen Thiere 1903 S. 55.

Magnus, noch im Druck.

(Aus dem Institute für Pharmakologie und physiologische Chemie zu Rostock.
Director Prof. R. Kobert.)

Ueber die Moser'schen Krystalle.

Ein Beitrag zur Kenntniss der Blutfarbstoffe.

Von

Walther Frieboes, Berlin.

(Hierzu Tafel VII—XI.)

Ein wichtiges Capitel in der gerichtlichen Medicin ist der Nachweis von Blut. Wir kennen heutzutage mehrere gute Methoden, Blut als solches nachzuweisen. Man verfährt dabei theils optisch, theils chemisch, theils mikroskopisch, theils krystallographisch. Gerade letztere Methode ist meist bequem anzuwenden und gibt einwandfreie Resultate[1]). Freilich ist uns unter Umständen nur recht wenig damit genützt, wenn wir in einem fraglichen Fall wissen, dass der betreffende Fleck Blut ist. Meistens wollen wir auch noch wissen, ob es Thier- oder Menschenblut ist. Zu diesem Zwecke kann man die Fähigkeit des frischen Blutfarbstoffs, bei geeigneter Behandlung auszukrystallisiren, benutzen, denn das Blut der einzelnen Thiere krystallisirt z. Th. in verschiedenen Formen. Diese Methode hat grosse Schwierigkeiten und versagt bei altem Blute ganz, weil hier der Farbstoff nicht mehr als Hämoglobin vorhanden ist. Daher schlief diese Nachweismethode allmählich ein, bis in neuester Zeit wieder ein Arzt sich eingehend damit beschäftigte. Inzwischen gaben Uhlenhut, Wassermann, Ziemke und Andere[2]) eine Methode an, nach der sie mit unbedingter Sicherheit Menschen- und Thierblut unterscheiden zu können glaubten. Die Methode besteht im Wesentlichen darin, dass das Blutserum eines Versuchsthieres, dem

1) Siehe Weiteres bei H. U. Kobert, Das Wirbelthierblut in mikrokrystallographischer Hinsicht. Stuttgart 1901.

2) Pharmaceut. Zeitung 1901 Nr. 90.

genügend lange Menschenblutserum subcutan oder besser intraabdominell zugeführt worden war, nur im Serum von Menschenblut eine Trübung hervorruft. Kockel[1]), der praktische Versuche angestellt hat, kommt aber zu dem Ergebniss, dass die Methode durchaus nicht zuverlässig sei. Im siebenten Theil der Fälle, über welche Kockel berichtet hat, verhielt sich das Menschenblut refractär, und im elften Theil der Fälle gab heterologes Serum die Reaction.

Da also diese Methode auch nicht immer zum Ziele führt, war es gewiss lohnend und dankenswerth, dass Moser[2]) von Neuem auf die Krystallisation frischen, noch unzersetzten Blutfarbstoffs, d. h. auf die Darstellung von Hämoglobinkrystallen, zurückgriff. Moser kommt in seiner Arbeit zu dem Ergebniss, „dass die Formen der Hämoglobinkrystalle des Menschenblutes so charakteristisch und so verschieden von denjenigen des Thierblutes sind, dass aus ihnen mit unbedingter Sicherheit geschlossen werden kann, ob das zur Untersuchung vorliegende Blut Menschenblut oder Thierblut ist". Diese Behauptung von so unendlicher Tragweite bedurfte unbedingt der Nachprüfung.

Nachstehendes soll keineswegs eine solche fertige Nachuntersuchung darstellen; es hat nur den Zweck, die wichtigen Angaben Moser's theils zu bestätigen, theils einer Kritik zu unterziehen und das Capitel „Hämoglobin und Oxyhämoglobin" der Arbeit von H. U. Kobert, der bei der grossen Menge des zu bewältigenden Materials nicht auf Einzelheiten eingehen konnte, weiter auszubauen. Betreffs der verschiedenen Darstellungsmethoden verweise ich auf H. U. Kobert; ich habe natürlich meine Krystalle, mit wenigen, besonders angegebenen Ausnahmen, nach der von Moser angewendeten Methode dargestellt. Ich halte letztere insofern für brauchbar, als sie recht gute Krystalle und zwar verhältnissmässig rasch geliefert hat. Die Abbildungen sind, abgesehen von den aus Moser's Arbeit entnommenen, nach Photogrammen meiner Präparate, welche Dr. A. Hesekiel & Co., Berlin geliefert hat, ohne Retouche durch Lichtdruck hergestellt worden.

---

1) Deutsche med. Wochenschr. 1903 Nr. 4. — Pharmaceut. Zeitung 1903 Nr. 12 S. 117.

2) Vierteljahrschr. f. gerichtl. Medicin u. öffentl. Sanitätswesen. Dritte Folge Bd. 22 H. 1. Berlin 1901.

Methodik.

Die Methode, nach der Moser und auch ich die Hämoglobinkrystalle darstellten, ist kurz folgende. Das meist defibrinirte Blut liess ich auf einer Glasplatte trocknen, jedoch nicht vollständig, sondern nur so lange, bis es noch feuchtglänzend war. Dann verrieb ich es mit etwas destillirtem Wasser, um den jetzt noch gut löslichen Blutfarbstoff in Lösung zu bringen. Wieviel Wasser man bei den verschiedenen Blutarten nehmen muss, lehrt die Erfahrung, jedoch ist stets möglichst wenig zu nehmen. Alsdann presste ich die Lösung durch ein Leinwandläppchen, um etwaiges Fibrin, ungelöste Klumpen und irgend welche Verunreinigungen dadurch zu beseitigen. Auf je einen Objectträger presste ich durch das Läppchen einen Tropfen und liess ihn am Rande etwas eintrocknen. War dies geschehen, so bedeckte ich denselben mit einem Deckglase, liess am Rande des Deckglases die Blutlösung eintrocknen und schloss das Präparat mit Kanadabalsam ein. Ich habe keinerlei nachtheilige Beeinflussung durch den Kanadabalsam bemerkt. Schellack- und Wachseinschluss lieferten dieselben Resultate.

Menschenblut.

Vor Allem kam es mir darauf an, über die Krystallisation dieses Blutes einwandfreie Resultate zu bekommen. Gleichzeitig wollte ich die Richtigkeit der Moser'schen, vielleicht nicht sehr glücklich ausgewählten Abbildungen nachprüfen und durch Photogramme der von mir dargestellten Krystalle naturgetreue Abbildungen schaffen. Hoffentlich finden letztere Aufnahme in physiologische Lehrbücher, wo die Abbildungen bisher z. Th. recht unvollkommen sind; ich verweise z. B. auf das unter Studirenden sehr verbreitete Lehrbuch der Physiologie von Landois, 10. Aufl., 1900, S. 40.

Durch die Liebenswürdigkeit von Herrn Prof. Dr. Müller in Rostock war ich in der Lage, ganz frisches Menschenblut von chirurgischen Fällen in grösseren Quantitäten zu verarbeiten. Ich strich das Blut auf kleine Glasplatten, wo es in ein paar Stunden getrocknet war, und verarbeitete es dann nach der oben angegebenen Methode möglichst sofort. Wie Moser schon angegeben, bilden sich am Eintrocknungsring bei Menschenblut keinerlei Krystalle. Der Eintrocknungsring verschwindet hier bald ganz, und erst dann

kommt es im Laufe der nächsten Tage zur Krystallisation; innerhalb der folgenden 8—14 Tage nimmt sie an Intensität zu. Dann tritt ein Stillstand ein; allmählich vergehen die Krystalle wieder und nehmen dabei einen violetten Ton an, der sie von den Krystallen anderer Blutarten unterscheidet. Dieser schon von Moser gemachten Angabe stimme ich bei; dagegen ist seine Behauptung, dass das Menschenblut nur Krystalle von Hb [1]) liefere, unrichtig.

Um verständlich zu sein, muss ich etwas weiter ausholen. Das eingeschlossene Blut der meisten Thierarten und stets das der Menschen zeigt beim Eintritt der Krystallisation den Hb-Streifen im Spectroskop; ja, wenn das eingedeckte Blut O_2Hb war, so wird es meist erst zu Hb reducirt, und erst dann krystallisirt es aus. Nachdem die Krystallisationsfähigkeit erloschen ist, tritt allmählich, manchmal an verschiedenen Stellen gleichzeitig, wohl in Folge Sauerstoffzutritts vom Rande her, O_2Hb auf, wie man spectroskopisch leicht nachweisen kann, und dann zeigt nach längerer oder kürzerer Zeit das Blut mit den Krystallen eine einheitliche, helle Färbung, die vor dem Spectroskop die beiden scharfen O_2Hb-Streifen aufweist. Es gehen also meist die Krystalle aus dem Hb-Stadium durch langsame Arterialisation in das O_2Hb-Stadium über, in dem sie sich dann sehr lange halten. Beim Menschenblut, von dem wir hier gerade reden, tritt dieser Uebergang allerdings verhältnissmässig selten auf. Mir ist es aber wiederholt gelungen, O_2Hb-Krystalle zu erhalten, und ich besitze noch jetzt ein über ein Jahr altes Präparat, welches dies in ganz prachtvoller Weise zeigt. Vorbedingung ist natürlich sehr sorgfältiges Eindecken des Präparats; denn bei schlechter Eindeckung tritt sowohl beim Menschen- wie Thierblut bald Zersetzung der Krystalle ein. — Später komme ich noch einmal auf das Obige zurück.

Wenden wir uns nun zu den Krystallformen des Menschenbluts. Die typischen Formen, die ich in allen meinen Präparaten erhielt, wenn ich ganz frisches Menschenblut in reichlicher Quantität auskrystallisiren liess, veranschaulichen die Abbildungen 1 und 2. Wir sehen in Fig. 1 neben den sehr charakteristischen, meist treppenförmigen Platten drei dunkler gefärbte Gebilde, die, wie Fig. 3 zeigt, auch ausspringende Ecken haben können.

1) Ich werde im Nachstehenden mit Hb das reducirte Hämoglobin und mit O_2Hb das Oxyhämoglobin bezeichnen.

Diese im Präparat tief dunkelroth gefärbten Krystalle sind vierkantige, doppeltbrechende Prismen, deren Farbe von den hellgefärbten Platten sehr absticht. Die Platten sind als drusige Gebilde aufzufassen; über ihre Bestandtheile soll weiter unten gesprochen werden. Stets vergesellschaftet mit obigen Krystallformen finden sich in grosser Menge die in Fig. 2 wiedergegebenen Bündel aus scharfkantigen Stäben, die an ihren Enden in zahlreiche Aeste aufgesplittert sind[1]). In beiden Präparaten sehen wir ferner feine, nadelartige Gebilde und theils deutlich abgegrenzte, theils verschwommene rhombische Plättchen. Die nadelförmigen Kryställchen sind solche rhombischen Plättchen, die auf der schmalen Kante stehen, wie man an manchen Stellen der Abbildungen auch leicht sehen kann. In Fig. 2 sehen wir auch noch wie in Fig. 1 treppenförmige Platten, wenngleich wenig deutlich.

Fig. 3 endlich stellt dar, wie stark verunreinigtes Blut auskrystallisirt. Wir können auch hier alle drei Krystallformen erkennen, nur sind sie mehr oder minder verschwommen; hier und da erkennen wir ausgesprochene Drusenbildung.

Diese Resultate stehen in gewissem Widerspruch zu der von Moser gemachten Angabe. Er sagt Seite 52 wörtlich: „Krystallisirend im rhombischen System, zeichnen sie (die Krystalle) sich durch ihre Grösse aus; scharfkantig, meist durchweg gut ausgebildet, zumeist in rechtwinkeligen, breiten Platten (siehe Fig. 4, Moser's Arbeit entnommen), zeigen sie anfangs keine oder nur sehr geringe Neigung zur Drusenbildung, bilden keine spitzen, schmalen Nadeln zu Büscheln oder Bündeln vereinigt. Erst wenn das Blut längere Zeit der Fäulniss ausgesetzt gewesen ist, nach ca. 10—14 Tagen, tritt ausgesprochene Drusenbildung auf; dann finden sich auch flache, fächerförmig angeordnete, breite Nadeln (siehe Fig. 5 und 6B, auch Moser entnommen), aber daneben auch stets die rechtwinkeligen, scharfen Platten oder Plättchen. Erlischt allmählich die Fähigkeit, zu krystallisiren, so tritt die Bildung scharf ausgeprägter Krystalle zurück; es entstehen meist grössere Flächen, die aus in Bildung begriffenen Krystallen zusammengeschmolzen sind. Es werden dann stufen- und treppenförmige Gebilde sichtbar, die ich als Halbkrystalle bezeichnen möchte, die aber in ihrer Form wiederum charakteristisch für Menschenblut sind (siehe Fig. 6B)."

1) Auch diese Bildungen sind als Drusen aufzufassen, wie noch unten ausgeführt werden wird.

Wie war es nun möglich, dass ich in meinen Präparaten zum Theil sogar reichliche Drusenbildung bekam, dagegen die von Moser (Fig. 4) abgebildeten Platten nur in ganz kleinen Exemplaren vorhanden waren; dass ferner die von Moser als Halbkrystalle bezeichneten treppenförmigen Gebilde gleich anfangs auskrystallisirten? Ein zufälliges Ereigniss gab darüber Aufklärung. Ich hatte Präparate wie Fig. 1 und 2 zum Photographiren geschickt und bekam zu meinem nicht geringen Erstaunen die in Fig. 7, 8 und 9 wiedergegebenen Bilder zurück, die kaum noch Aehnlichkeit mit den früheren Präparaten hatten. Die Erklärung war aber sehr einfach; auf dem Transport waren die Präparate entzwei gegangen und die Krystalle dadurch zum grössten Theil zerstört worden. So blieben dieselben einige Tage, ehe sie photographirt wurden, liegen. Es war natürlich ein Theil des Blutfarbstoffes ausgetreten; nur an grösseren Resten des Deckglases war die Lösung am Rande eingetrocknet, und es hatte nun eine neue Krystallisation begonnen. Bei der geringen Menge des Blutfarbstoffes konnten aber keine Krystallaggregate entstehen, sondern es krystallisirten deren Bestandtheile aus, jene schon von Moser (Fig. 4) abgebildeten rechteckigen und rhombischen Platten mit und ohne ausspringende Ecken. Dieses Ergebniss lehrt uns also, dass frisches Menschenblut in geringer Quantität scheinbar anders krystallisirt, nämlich nicht in Drusen, sondern in den beschriebenen Platten. Sehr lehrreich sind ferner die Abbildungen insofern, als sie zeigen, aus was für Gebilden die Krystallaggregate zusammengesetzt sind. In Fig. 7 sehen wir bei *a* Reste der kantelförmigen Stäbe; sie bestehen, wie leicht zu sehen ist, aus lauter kleinen, rechteckigen Kryställchen. Derartige sehen wir noch im ganzen Präparat verstreut liegen. Ausserdem wimmelt es aber von mehr oder minder grossen Platten mit oder ohne ausspringende Ecken, den Hauptbestandtheilen der treppenförmigen Gebilde. Dass dies der Fall, lehrt uns Fig. 8. Wir sehen dort Reste solcher Krystallformen und können leicht die einzelnen Bestandtheile erkennen; sie haben dieselbe Form wie die das Präparat erfüllenden Platten. Fig. 9 zeigt im Wesentlichen dasselbe; bemerkenswerth ist vielleicht die doppelseitig treppenförmige Platte bei *c*. Dass die Drusen aus obigen Krystallformen bestehen, lässt sich noch anders zeigen. Wenn man bald nach dem Auskrystallisiren mit dem Finger vorsichtig auf das Deckglas drückt, so treibt man die Krystalle auseinander, und das ganze Präparat wimmelt dann

von Formen wie in Fig. 7, 8 und 9; nur sind die Ecken weniger scharf ausgebildet, wie leicht erklärlich ist.

Formen wie in Fig. 5 sah ich bei frischem Menschenblut nie auftreten, wohl aber bei dem der Leiche entnommenen Blut.

Es war von Interesse, zu untersuchen, ob der Blutfarbstoff in der Leiche eine auf die Krystallisation umgestaltend wirkende Zersetzung erleide.

Einem 1½jährigen Kinde wurde einen Tag nach dem Tode Blut entnommen. Schon nach wenigen Tagen schossen in den wie oben angefertigten Präparaten zahlreiche Krystalle an, deren Form Fig. 10 wiedergibt. Die meist langgestreckten, rechteckigen Platten weichen von den Krystallformen des frischen Menschenblutes ganz erheblich ab. Wir finden keine ausspringenden Ecken, dagegen aber sehr scharfe Randconturen. Ausserdem liegen im ganzen Präparat, theils in Drusen, theils einzeln, noch kleine Platten derselben Art. Die weissen Krystalle bestehen aus fremder Substanz. Diese Abbildung hat eine grosse Aehnlichkeit mit der Moser entnommenen (Fig. 5). Diese Formen hat er bekommen, wenn er Blut 10–14 Tage im offenen Gefäss faulen liess. Sargdeckelförmige Krystalle (s. Fig. 6 *A*, *a*) sah ich nie auftreten, abgesehen von weissen Tripelphosphatkrystallen. Eine Verwechslung solcher mit Hb-Krystallen halte ich selbstverständlich für ausgeschlossen.

Blut einer Leiche, die ca. 14 Tage gelegen hatte, brachte ich nicht mehr zur Krystallisation.

In der Literatur über die Krystallisation des Menschenblutes findet sich die Angabe, dass das Milzvenenblut ohne irgend welche Behandlung beim blossen Trocknen krystallisire. Auch H. U. Kobert erwähnt diese Thatsache S. 16 und 18 seiner Arbeit. Er hat selber Krystallisation des Milzvenenblutes erzielt, und zwar durch Gefrierenlassen.

Durch die Liebenswürdigkeit von Herrn Professor A. Thierfelder bekam ich menschliches Milzvenenblut von Leichen in grösserer Menge. Ich brachte davon je einen Tropfen auf einen Objectträger und bedeckte ihn gleich mit einem Deckglase. Einen Theil der Präparate hob ich so auf; bei einem anderen schloss ich das Deckglas, nachdem das Blut am Rande eingetrocknet war, mit Kanadabalsam. Schon nach kurzer Zeit – ca. 24 Stunden — traten Krystalle auf; die Krystallisation nahm dann rasch zu. Durch zwei Aufnahmen habe ich die bei meinen Versuchen stets wiederkehrenden

Formen festgehalten. Fig. 11 zeigt neben den uns schon bekannten treppenförmigen Gebilden fächerförmige Krystallaggregate, die offenbar von diesen abzuleiten sind. Sehen wir doch, wie sie unmittelbar aus solchen Platten entspringen. Sie bestehen aus lauter rechteckigen oder rhombischen Täfelchen mit oder ohne ausspringende Ecken. Dass die treppenförmigen Platten aus ebensolchen, meist grösseren Einzelkrystallen bestehen, ist sowohl in Fig. 11 wie Fig. 12 deutlich zu sehen, und so bilden diese beiden Abbildungen eine schöne Ergänzung der oben gemachten Angabe über die Bestandtheile der Krystallaggregate. Es kommen aber auch Präparate vor, in denen eine solche fächerförmige Aufsplitterung fehlt. Den Typus eines solchen Präparates veranschaulicht Fig. 12.

Zum Schluss dieses Abschnittes möchte ich noch kurz die Ergebnisse zusammenfassen. Wir sahen, dass frisches Menschenblut in grösseren Quantitäten (also auch in dickeren Schichten) in drei Krystallformen auskrystallisirt, erstens in grossen, treppenförmig gebildeten Platten, zweitens in scharf begrenzten, tief dunkelrothen, doppeltbrechenden, vierkantigen Prismen, drittens in scharf begrenzten, an den Enden reichlich aufgesplitterten Stäben; daneben finden sich noch mehr oder minder gut ausgebildete Plättchen.

Frisches Menschenblut in kleiner Menge krystallisirt in rechteckigen oder rhombischen, mehr oder minder langgestreckten Krystallen, die grossentheils ausspringende Ecken haben. Drusenbildung, die dunkelrothen Prismen und die stabförmigen Krystalle fehlten, soweit ich hier ein Urtheil abgeben kann.

Der Leiche entnommenes Blut, sowie Blut, das längere Zeit im offenen Gefäss gestanden hatte, zeigt abweichende Krystallformen. Wir sehen hier breite, lange, an ihren Enden nur selten getheilte, scharfconturirte Platten, daneben, oft in Drusen, kleinere Platten derselben Art.

Im nachstehenden Abschnitt führe ich die Ergebnisse meiner Versuche mit menschlichem Nabelschnurblut an. Die Möglichkeit der Untersuchung verdanke ich Herrn Geheimrath Schatz und Herrn Dr. Büttner.

Ich entnahm das Blut der doppelseitig unterbundenen Nabelschnur. Im Laufe der Zeit konnte ich eine recht grosse Zahl von Präparaten herstellen. Das Ergebniss zeigen die Abbildungen in Fig. 13—16. In Fig. 13 und 14 — die letztere hat Herr Professor

Will in Rostock gütigst photographirt — sehen wir bei vierfacher Linearvergrösserung aufgenommene ganze Präparate; Exemplare wie diese gehören keineswegs zu den Seltenheiten; ich habe sie bei jeder Versuchsserie in mehreren Präparaten erhalten. Wir sehen, dass die Krystalle aus rosettenförmig angeordneten Strahlen bestehen, die sich ihrerseits wieder verzweigen. Auch Bündel wie Korngarben treten auf, endlich noch einige unregelmässige Kryställchen. Betrachten wir die Krystallgruppen genauer, so sehen wir auf den ersten Blick, dass die einzelnen Strahlen keineswegs einheitlich sind, sondern aus einer grossen Anzahl kleiner, eng an einander gereihter, auch sich fischschuppenartig deckender Kryställchen bestehen. Sie haben ungefähr dieselbe Form wie die verstreut herumliegenden. Sehr deutlich zeigt uns dies Fig. 15, die ich nicht etwa als auf Eintrocknung beruhend zu deuten bitte. In einem Präparat, das ich so anfertigte, dass ich einen natürlichen Blutstropfen in Kanadabalsam einbettete, erhielt ich neben dieser Krystallform noch einige Platten. Leider habe ich s. Z. das Präparat nicht photographiren lassen, und später ist es mir nicht mehr gelungen, diese Platten auskrystallisiren zu lassen. Ich gebe desshalb eine Abbildung menschlichen Placentarblutes von Moser wieder (Fig. 17 *Aa*), die die Formen ungefähr erkennen lässt. Ich selber habe bisher noch keine Versuche mit Placentarblut angestellt, kann desshalb kein Urtheil über die Richtigkeit der Moser'schen Abbildung fällen. Fig. 17 *A* zeigt Krystalle aus frischem Placentarblut, Fig. 17 *B* Krystalle aus mit solchem Blut getränkter Leinwand.

Wir kommen also zu dem Schluss, dass das Blut der menschlichen Nabelschnur ganz anders krystallisirt als gewöhnliches Menschenblut und als das Blut der Leiche. Ob der Eintritt der Lungenathmung der Factor ist, der das Hb des Foetus in das des lebenden Menschen umwandelt, oder ob andere Factoren hier mitwirken, ist ohne Weiteres nicht zu entscheiden; ich gedenke dies demnächst experimentell festzustellen.

Im jetzt folgenden Theile meiner Arbeit bespreche ich die Krystallformen und die Krystallisationsfähigkeit einiger anderer Blutarten. An der Hand der gegebenen Abbildungen werden wir zum Schluss feststellen, ob eine Unterscheidung zwischen Menschen- und Thierblut auf Grund der Krystallisation möglich ist, und, wenn ja, ob diese Methode praktisch und in allen Fällen verwendbar ist.

Hundeblut.

Das Blut wurde der Karotis des Hundes entnommen, defibrinirt und auf Glasplatten gestrichen. Nach ein paar Stunden hatten sich an vielen Stellen prachtvolle Nadeln gebildet, die in dichtem Gewirr durch einander lagen. Das Blut wurde nun wie sonst verarbeitet. Nach dem Bedecken mit dem Deckglas bildeten sich am Eintrocknungsring nach 10—15 Minuten sehr schöne Hb-Nadeln, die dieselbe Form hatten wie die oben beschriebenen. Innerhalb der nächsten Stunden ist das ganze Präparat mit Krystallen bedeckt, die theils in Büschelform, theils in radiär gestellten Nadeln krystallisiren. Ersteren Typus veranschaulicht die Abb. (Fig. 18). Die Färbung derselben Nadeln ist theils gelb, theils roth, und gerade dadurch sind sie von den sonst sehr ähnlichen Krystallen aus Schweineblut sehr leicht zu unterscheiden. Es kommen auch manche breiteren, fast stäbchenförmigen Nadeln vor, doch sind sie seltener; polygonale Platten, wie Moser sie abbildet, habe ich nie auftreten sehen. Zum Schluss sei noch auf die Abbildungen von Hundeblut bei H. U. Kobert verwiesen.

Schweineblut.

Dies Blut krystallisirt sehr leicht. Am Eintrocknungsring sah ich keine Krystalle auftreten. Die Krystalle (Fig. 19 und 20) bestehen aus Nadeln, die theils radiär gestellt, theils in Büscheln angeordnet sind und absolut rothe Färbung zeigen. Eine Gelbfärbung, die Moser beobachtet zu haben angibt, fehlte bei mir stets! Bei stärkerer Vergrösserung (Fig. 20) sehen wir kleine, weisse Krystalle (*a*) hie und da zwischen den Hb-Krystallen, die auch bei Donogany (S. 142) abgebildet sind. Ob dies Vietinghoff'sche Krystalle von oxalsaurem Kalk sind, ist schwer zu entscheiden. — Das Blut behält recht lange die Fähigkeit, zu krystallisiren. Noch nachdem es zwanzig Tage im offenen Gefäss gestanden hatte, krystallisirte es prachtvoll. Oft finden sich auch Wedelformen, die so gross werden, dass sie das ganze Präparat überragen. Ein besonders schönes Präparat, welches ich hier in natürlicher Grösse wiedergeben wollte, eignete sich leider nicht zum Photographiren.

Wildschweinblut.

Krystallform und Färbung ist genau dieselbe wie beim Blut des zahmen Schweins; auch die Krystallisationsfähigkeit ist die nämliche.

Rehblut.

Leider bekam ich das Blut nicht in recht frischem Zustande. In Folge dessen war die Krystallisation eine recht spärliche. Ich gebe die Moser'sche Abbildung (Fig. 21) hier wieder. Die Krystalle sind meist breite, unregelmässig geformte Tafeln mit abgeschliffenen oder einspringenden Ecken.

Hirschblut.

Ganz anders als das Blut vom Reh krystallisirt das Blut des Hirsches. Eine Abbildung kann ich nicht geben. Die Krystalle bilden Wedel aus ganz feinen rothen Nadeln, die denen des Schweineblutes oft zum Verwechseln ähnlich sehen; nur sind die Nadeln viel feiner.

Pferdeblut.

Da dasselbe sehr leicht in grossen Mengen zu haben ist, habe ich es wieder etwas genauer untersucht. Das Blut krystallisirt recht leicht. Ich erhielt genau dieselben Krystallformen wie Moser und gebe desshalb auch dessen Abbildung (Fig. 22) hier wieder; ausserdem muss ich auf sie noch näher eingehen. Moser sagt über das Pferdeblut wörtlich (S. 53): „Eine gewisse Aehnlichkeit mit den Hb-Krystallen des Menschenblutes haben diejenigen des Pferdeblutes, und dieselben können wohl zur Verwechslung Veranlassung geben. Doch treten die Hb-Krystalle des Pferdeblutes sehr selten auf und stets in Begleitung von O_2Hb-Krystallen.“ Ich kann diesem Satze nicht beistimmen; erstens halte ich es nicht für möglich, Krystalle von Pferdeblut für Menschenblutkrystalle zu halten[1]); zweitens habe ich nicht constatiren können, dass die Krystallisation, wie ich schon angegeben, eine schwierige sei; endlich drittens verweise ich hinsichtlich des gesperrt gedruckten Theiles des obigen Satzes auf meine Auseinandersetzungen beim Capitel „Menschenblut“. Auch hier trifft das dort Angeführte zu. Nach einiger Zeit zeigt das ganze Präparat mit den Krystallen deutlich die O_2Hb-Streifen. Die mit *a* bezeichneten, von Moser als O_2Hb-Krystalle bezeichneten Krystalle sind ebenso Hb-Krystalle gewesen wie die

---

1) Man vergleiche selbst diese Abbildung mit Moser's eigenen vom Menschenblut Fig. 4, 5 u. 6.

von ihm als solche bezeichneten bei *b*. Es kann wohl sein, dass gerade an der Stelle, wo die *a*-Krystalle waren, der Oxydationsprocess begann und somit jene scheinbar O_2Hb-Krystalle darstellten.

Diese *a*-Krystalle haben aber höchstwahrscheinlich eine andere Bedeutung. Da sich bekanntlich beim Pferdeblut die Blutkörperchen sehr leicht vom Plasma resp. Serum trennen, versuchte ich, ob das Fehlen des Serums irgend welche Einwirkung auf die Krystallisation des Hämoglobins besässe. Der serumarme Blutkörperchenbrei wurde wie sonst das Blut verarbeitet. Bei dem Auskrystallisiren entstanden nur die mit *b* bezeichneten Krystalle. Es ist daher der Schluss zu ziehen, dass die andere Krystallform vom Serum beeinflusst ist. Vielleicht gibt uns dieser Umstand auch eine Erklärung für die so merkwürdige Thatsache, dass manche Blutarten in verschiedenen Krystallformen krystallisiren; ich weise hier nochmals auf die Krystallformen des frischen Menschenblutes (Fig. 1, 2 und 3) hin! Leider war ich durch andere Arbeiten verhindert, in dieser Richtung bisher genügende Versuche zu machen. Ich hoffe, dieselben später anstellen zu können.

Eichhörnchenblut.

Typisch tritt das Vorkommen verschiedener Krystallarten im Eichhörnchenblut auf. Durch Zufall bekam ich Blut von mehreren Thieren zu gleicher Zeit, so dass ich genauere Untersuchungen anstellen konnte. Das Blut krystallisirt verhältnissmässig leicht. Wir sehen (Fig. 23) neben den schon bekannten polygonalen, meist sechseckigen Tafeln kantelförmige Gebilde, die einzeln oder auch in Gruppen zusammenliegen, und deren Enden zugeschärft sind. Endlich findet sich noch eine Anzahl kleiner, stäbchenförmiger Krystalle, die erst verhältnissmässig spät auftreten. — Am Eintrocknungsring konnte ich keine Krystalle bemerken.

Kaninchenblut.

Das Blut wurde der Karotis entnommen. Am Eintrocknungsring traten nach 10—15 Minuten reichlich intensiv braungelb gefärbte, polygonale, an den Rändern eingekerbte Platten auf; im Laufe der nächsten Tage waren alle Präparate mit Krystallen vollkommen bedeckt. Ich gebe eine Abbildung nach einem meiner Präparate hier wieder (Fig. 24) und auch die von Moser (Fig. 25), die ja in vielen Punkten mit der meinigen Aehnlichkeit hat. Die

eingezeichneten Sargdeckelkrystalle sah ich nicht auftreten, abgesehen von den weissen Tripelphosphatkrystallen. Das Blut besitzt nur ganz frisch die Krystallisationsfähigkeit; wenigstens ist es mir nie gelungen, das Blut eines ca. einen Tag todten Thieres zur Krystallisation zu bringen.

Katzenblut.

Ganz wunderschön und sehr leicht krystallisirt das Katzenblut; die beiden Abbildungen (Fig. 26 und 27) geben typische Stellen wieder. Auch hier sehen wir drei verschiedene Krystallformen. Die Hauptmenge besteht aus meist langen, einzeln oder in Bündeln angeordneten, dreiseitigen, prismatischen Stäben. Die zweite Art bilden rhombische und vierseitige, rechtwinklige Prismen, die durch ihr starkes Lichtbrechungsvermögen ausgezeichnet sind. Endlich finden sich noch ganz feine Nadeln; die weissen Krystalle haben natürlich nichts mit den Hb-Krystallen zu thun; sie bestehen aus unorganischer Substanz oder es sind Vietinghoff'sche Oxalate.

Ziegenblut.

Die Form der Ziegenblutkrystalle erinnert, besonders in der Abbildung 28, wohl etwas an die Krystalle aus dem menschlichen Placentarblut, indem auch hier die büscheligen Gebilde aus kleinen Plättchen bestehen. Unter Umständen könnte hier eine Verwechslung vorkommen, aber ich glaube, dem Geübten würde es leicht sein, den Unterschied herauszufinden. Die zweite Abb. (Fig. 29) lässt keinen Zweifel darüber, dass das Blut kein menschliches Placentarblut war. Hier sehen wir Büschel von viel feineren Nadeln, untermischt mit kleinen Plättchen und breiteren, nadelförmigen Gebilden, deren Zusammensetzung aus Plättchen man leicht erkennen kann.

Hammelblut.

Es krystallisirt in kleinen zusammenhängenden Tafeln und in kleinen Büscheln, die aus Nadeln bestehen. Bei frischem Blut dauert es recht lange, bis sich die Krystalle bilden.

Fledermausblut.

Das Blut eines ersten Thieres liess ich wie sonst trocknen; es bekam dabei ein sammetartiges Aussehen, welches davon herrührte, dass die getrocknete Masse aus einem Krystallbrei bestand. Da ich so die Form der Krystalle nicht feststellen konnte, tödtete ich

noch ein Thier, brachte das ganz frische Blut unter ein Deckglas und liess es am Rande eintrocknen. Sowie dies erfolgt war, deckte ich die Präparate mit Kanadabalsam ein. In diesen Präparaten erhielt ich Krystallformen, wie sie Fig. 30 wiedergibt. Dieselben waren recht gross; die Vergrösserung ist sehr schwach. Sehr bemerkenswerth ist die Formähnlichkeit mit dem Menschenblut, falls dieses in recht geringer Menge verwendet worden ist (Fig. 7, 8, 9). Hier wie dort sehen wir dieselben rechteckigen wie rhombischen Tafeln mit und ohne ausspringende Ecken. Die Kanten derselben treten zum Theil so scharf als gerade Linien hervor, dass man bei Fig. 30 und 32 den Eindruck bekommt, sie seien mit dem Lineal nachgezogen, was natürlich nicht der Fall ist. Bei Menschenblut kommt Aehnliches vor. Praktisch hat die Aehnlichkeit der Krystalle des Fledermaus- und Menschenblutes kein Interesse, da wohl kaum Fledermausblut in Gerichtsfällen vorkommen dürfte! — Ausserdem sehen wir auf der Abbildung (Fig. 30) bei *a* einen Haufen von (röthlichen) Stäbchen, über deren Bedeutung ich nichts Näheres aussagen kann. Endlich sind die mit *b* bezeichneten, gelblichweissen (serumfarbenen) Stäbchen zu erwähnen, die man für Serumkrystalle ansehen könnte. Diese Annahme wird dadurch hinfällig, dass in einem in Kanadabalsam eingebetteten Blutstropfen gar keine gewöhnlichen Hb-Krystalle auftraten, dagegen aber in grösster Menge die eben erwähnten Nädelchen einzeln, meist aber in Büscheln. Da aber Hämoglobin reichlich vorhanden gewesen war, müssen dies Hämoglobinkrystalle doch wenigstens theilweise gewesen sein. Das übrige Blut verarbeitete ich wie sonst; es krystallisirte prachtvoll aus; nur waren die Krystalle bedeutend kleiner, wie die Abbildung 31 zeigt. Diese ist bei derselben Vergrösserung aufgenommen wie Fig. 30. Auch hier haben die Krystalle dieselbe Form wie oben: lauter rechteckige und rhombische Platten mit oder ohne ausspringende Ecken. Es finden sich auch hier die feinen, rothen Nadeln; dagegen traten in keinem Präparat die fraglichen Serumkrystall-Nädelchen auf. Fig. 32 zeigt eine Stelle der Abbildung 31 in stärkerer Vergrösserung.

Taubenblut.

Endlich möchte ich noch anfügen, dass es mir gelungen ist, auch Taubenblut ohne Centrifugirung zur Krystallisation zu bringen. Bedingung dafür ist, dass man durch ständiges Neuein-

decken die Verdunstung auf ein Minimum beschränkt. Dann krystallisiren zuerst die knopfförmigen Gebilde (*a* in Fig. 34) aus, die bei starker Vergrösserung so (⊗) aussehen, und nach längerer Zeit, unter Umständen erst nach Monaten, treten die stäbchenförmigen Krystalle auf (Fig. 33). Einzelne, ganz kleine, sechseckige Platten finden sich ausserdem noch im Präparat.

Zum Schluss möchte ich noch die Ergebnisse meiner Versuche mit den von Moser aufgestellten Behauptungen vergleichen und auf die praktische Bedeutung dieser Methode in der gerichtlichen Medicin eingehen.

Ich glaube 1. dargethan zu haben, dass die Krystallformen des frischen Menschenblutes in reichlicher Menge, die des frischen Menschenblutes in geringer Menge, die des Leichenblutes oder solchen Blutes, das mehrere Tage im offenen Gefäss dem Faulen ausgesetzt war, die des Milzvenenblutes und endlich die des Nabelschnurblutes sehr von einander verschieden sein können. 2. Ferner habe ich gezeigt, dass, auch abgesehen von Hamster, Meerschweinchen und Eichhörnchen, das Blut verschiedener Thiere verschieden krystallisirt. Trotzdem konnte ich 3. darthun, dass alle diese Formen von Thierblutkrystallen von denen des Menschenblutes bis auf die aus dem Blute der Fledermaus und allenfalls die aus dem der Ziege ganz verschieden sind. 4. Am Eintrocknungsring wurden auch von mir beim Menschenblut keine Krystalle beobachtet; da aber auch bei manchen anderen Thierarten dasselbe der Fall ist, kann diese Thatsache allein für sich nicht als ausreichender Beweis für die Anwesenheit von Menschenblut herangezogen werden. 5. Die Krystalle des Menschenblutes nehmen im Stadium der Rückbildung einen violetten Ton an, den Moser und auch ich bei anderen Thierarten nicht beobachtet haben. Dieses Factum dürfte unter Umständen bei Gericht als Beweis mit verwendet werden können. Man glaube aber ja nicht, dass ich damit sagen wollte, dass lediglich bei Menschenblut Krystalle von reducirtem Hämoglobin vorkämen. Ich weiss vielmehr sehr gut, dass Krystalle von reducirtem Hämoglobin bei Mensch und Thier vorkommen. Dies bringt mich auf folgenden Punkt. Moser sagt: „Es treten im Thierblut O_2Hb-Krystalle und Hb-Krystalle zusammen

auf; beim Menschenblut ist dies nie der Fall.“ Ich habe aber gezeigt, dass meistens das Thierblut im sauerstofffreien Stadium krystallisirt und dann allmählich wieder zu O_2Hb wird, und habe nachweisen können, dass beim Menschenblut dasselbe der Fall ist. In Folge dessen dürfte dieser von Moser als wichtig bezeichneten Unterscheidungsweise zwischen Thier- und Menschenblut keine forensische Beweiskraft zukommen.

Ueber die Bedeutung des Farbentons der Hb-Krystalle sagt Moser Folgendes: „Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist gegeben durch die Färbung der Krystalle; die Krystalle des Menschenblutes aus frischem Blute sind hochroth und nehmen in dieser Farbe ab mit dem Alter des Blutes, indem gradatim ein violetter Ton hinzutritt, bis die Färbung fast rein violett wird. Krystalle aus anderen Blutarten, die Aehnlichkeit mit den Hb-Krystallen des Menschenblutes vortäuschen könnten, wie die aus Schweineblut, Kaninchenblut, aus Karpfenblut, sind stets gelbroth, ein Farbenton, den ich bei Menschenblutkrystallen nie beobachten konnte.“ Ueber die Bedeutung der violetten Nuance der Menschenblutkrystalle habe ich schon gesprochen; auch ich konnte hier keinen gelben Ton beobachten, während Donogany allerdings einen solchen beobachtet zu haben scheint. Die Farbenbezeichnung „hochroth“ kann ich einwandfrei nur für die dunkelgefärbten Prismen gelten lassen, da der Farbenton der anderen Krystalle von der Dicke der Blutschicht abhängt; so können die Krystalle bei dünner Blutschicht ganz rosafarben sein.

Dass Schweineblut einen gelben Farbenton haben soll, bestreite ich; ich habe wenigstens nie einen solchen bei meinen Präparaten beobachten können. Wie schon oben angegeben, habe ich nur prachtvoll rothgefärbte Nadeln auftreten sehen, die mit irgend einer Form des Menschenblutes auch nicht die geringste Aehnlichkeit haben. Bei Hundeblut, Kaninchenblut und Fischblut findet sich der gelbe Farbenton sehr ausgesprochen.

Ein einwandfreies Resultat betreffs der Identificirung eines Blutes als Menschenblut mittelst der Darstellnng von Hämoglobinkrystallen darf man höchstens dann erhoffen, wenn erstens das betreffende Blut in genügender Menge vorhanden und wenn es zweitens verhältnissmässig frisch und durch äussere Einflüsse nicht zersetzt ist und keine allzu grossen Verunreinigungen enthält. Eine Täuschung beim Auftreten von wenigen, nicht charakteristischen

Krystallen halte ich sehr wohl für möglich, und darf daher in solchen Fällen unter keinen Umständen ein Urtheil abgegeben werden.

Sodann muss der betreffende Arzt oder Chemiker eine sehr grosse Uebung in der Darstellung der Krystalle und eine vollkommene Sicherheit in der Diagnose besitzen, die zu stellen manchmal gar nicht so leicht ist. Zur Identificirung der erzielten Krystalle als Menschenblut können die in den gewöhnlichen physiologischen und gerichtlich-medicinischen Büchern enthaltenen Abbildungen nicht benutzt werden. Wie weit die meinigen dazu brauchbar sind, muss die Zukunft lehren.

Zum Schluss spreche ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. R. Kobert, für die freundliche Hülfe und das anregende Thema meinen herzlichsten Dank aus.

Tafelerklärung.

Tafel VII.

Fig. 1. Krystalle aus frischem Menschenblut. Schwache Vergrösserung.

Fig. 2. Krystalle aus frischem Menschenblut. Schwache Vergrösserung.

Fig. 3. Krystalle aus frischem Menschenblut, das Verunreinigungen enthielt. Schwache Vergrösserung.

Fig. 4. Krystalle aus frischem Menschenblut. (Nach Moser.)

Fig. 5. Krystalle aus Menschenblut. (Nach Moser.)

Fig. 6. Krystalle aus Menschenblut. (Nach Moser.) *A.* Krystalle aus Blut, das 10—14 Tage im offenen Gefäss gestanden hatte. *B.* Krystalle aus mit Blut getränkter, feucht gehaltener Leinwand.

Tafel VIII.

Fig. 7. Krystalle aus frischem Menschenblut bei geringer Quantität.

Fig. 8. Krystalle aus frischem Menschenblut bei geringer Quantität.

Fig. 9. Krystalle aus frischem Menschenblut bei geringer Quantität.

Fig. 10. Krystalle vom Blut einer menschlichen Leiche.

Fig. 11. Krystalle aus menschlichem Milzvenenblute. Schwache Vergrösserung.

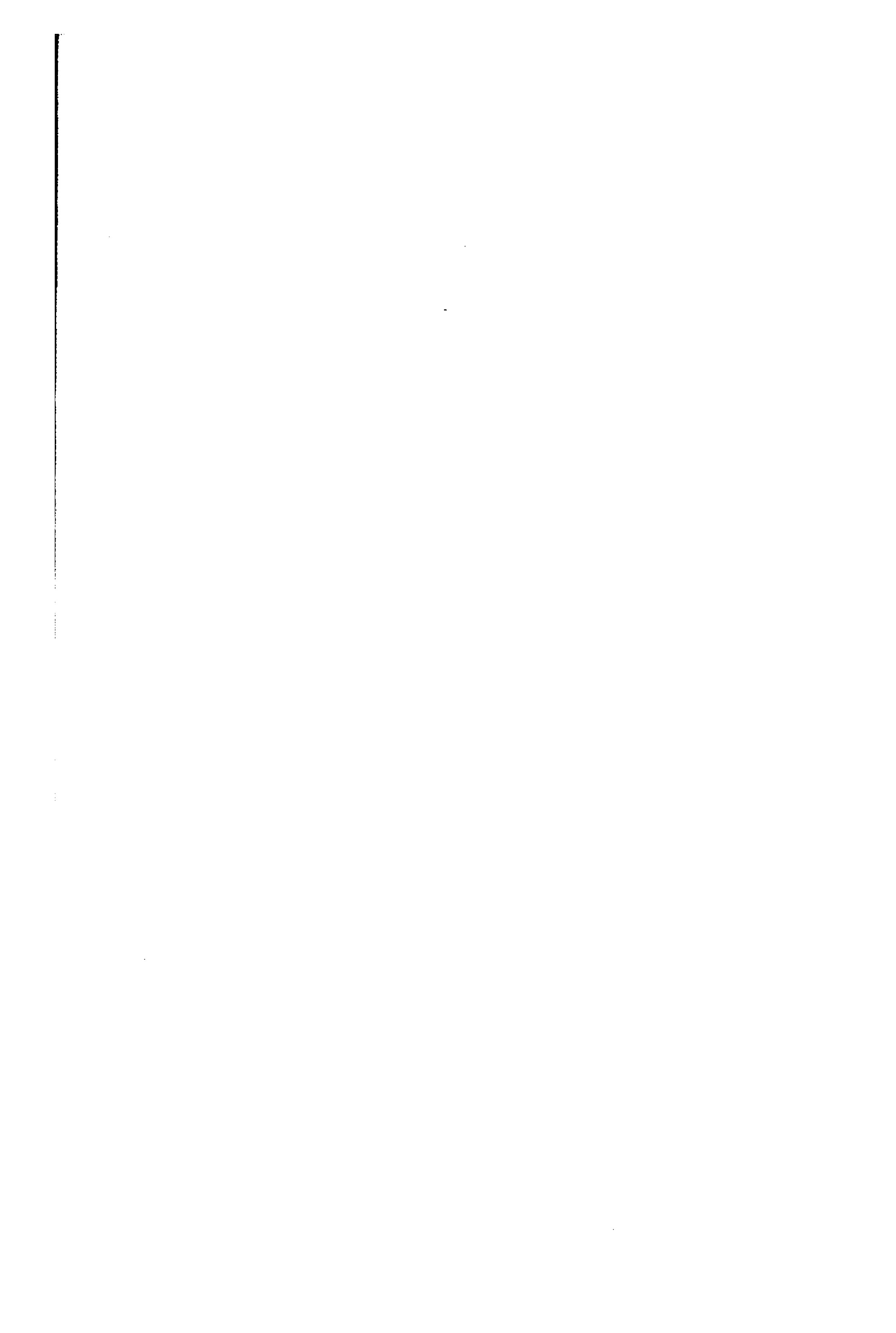
Fig. 12. Krystalle aus menschlichem Milzvenenblute. Schwache Vergrösserung.

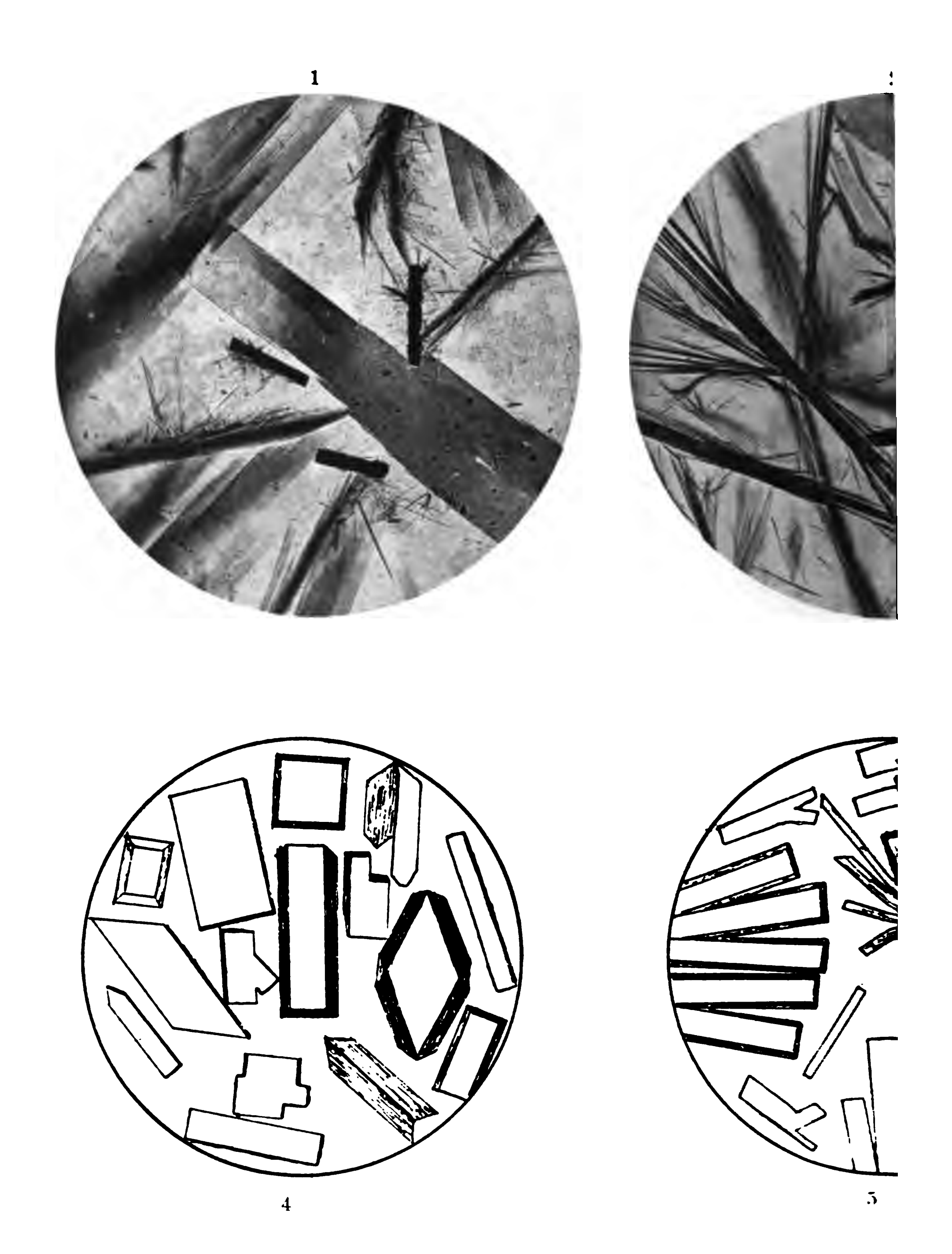
Tafel IX.

Fig. 13. Krystalle aus menschlichem Nabelschnurblut. 4fache Linearvergrösserung.

Fig. 14. Krystalle aus menschlichem Nabelschnurblut. 4fache Linearvergrösserung.

Fig. 15. Krystalle aus menschlichem Nabelschnurblut. 4fache Linearvergrösserung.

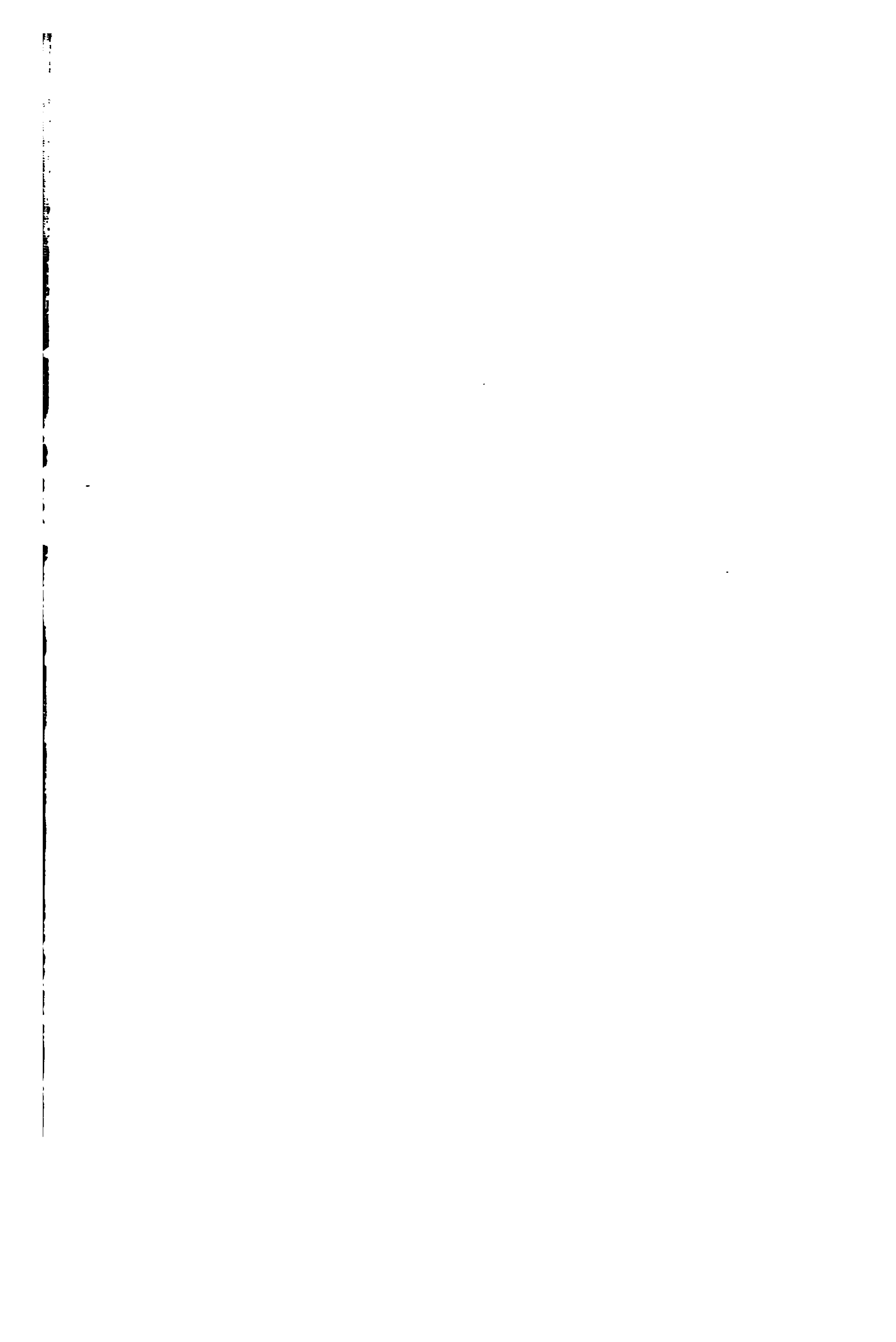


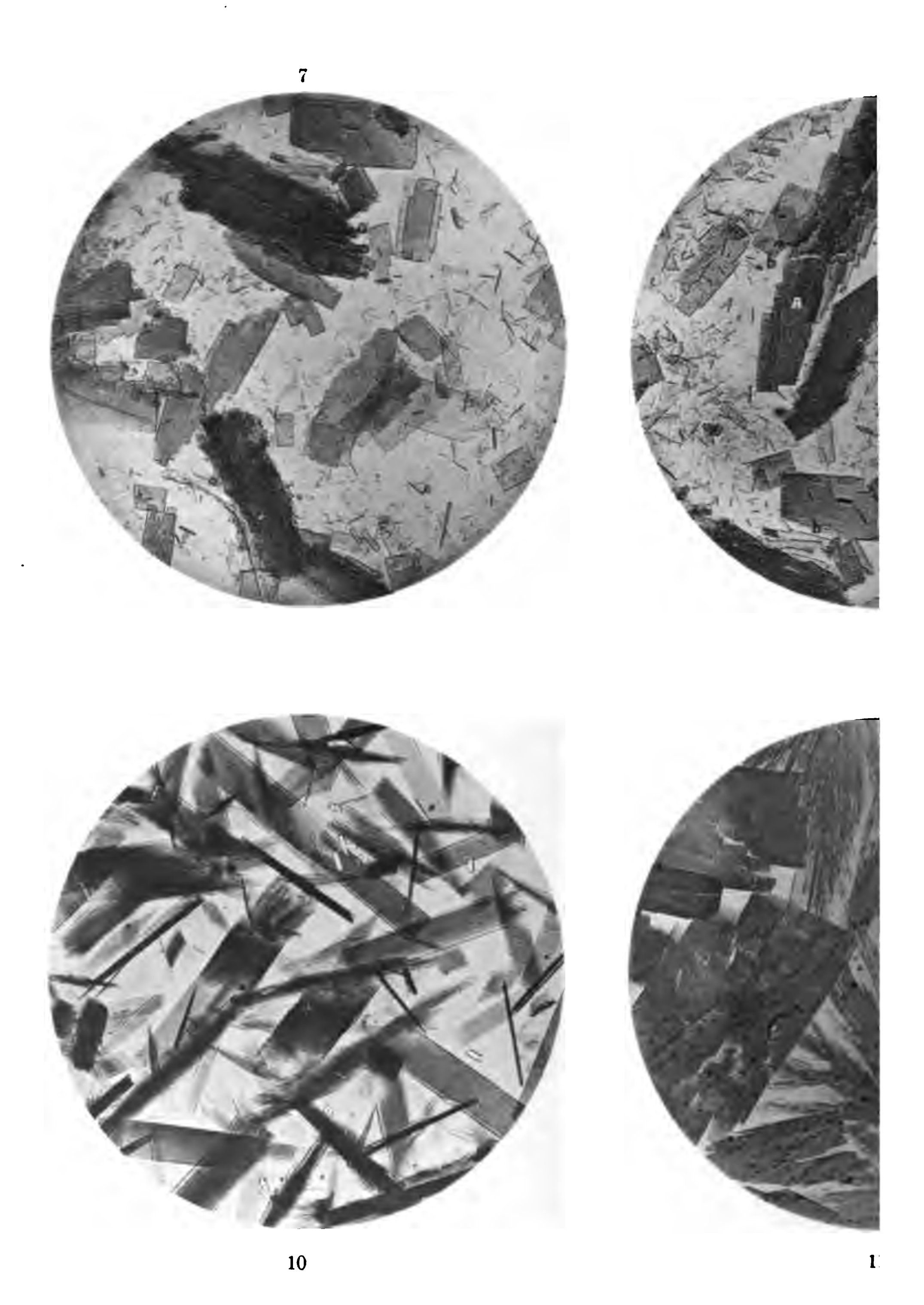


Römmler & Jonas, Dresden.

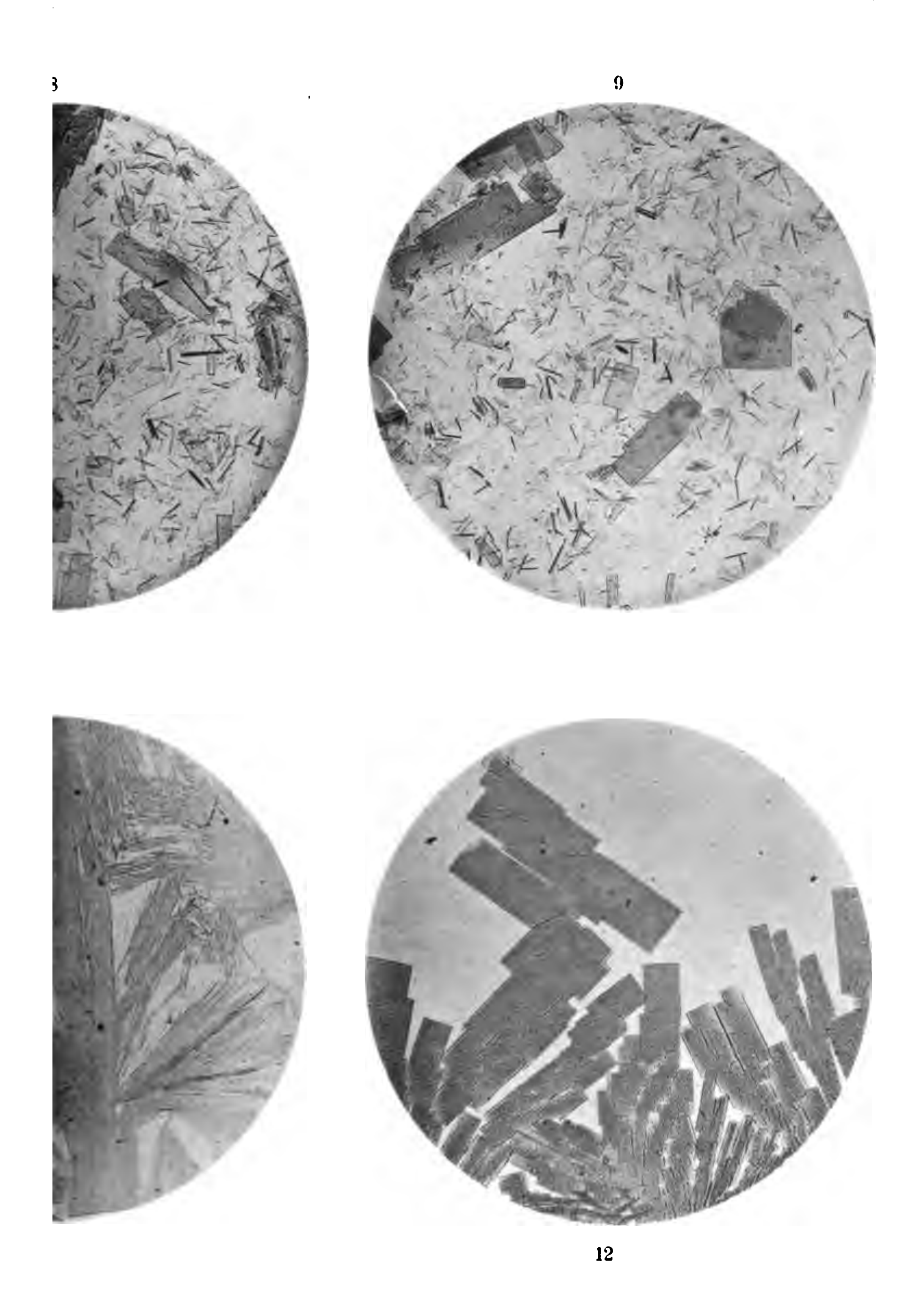


Verlag von Emil Stra

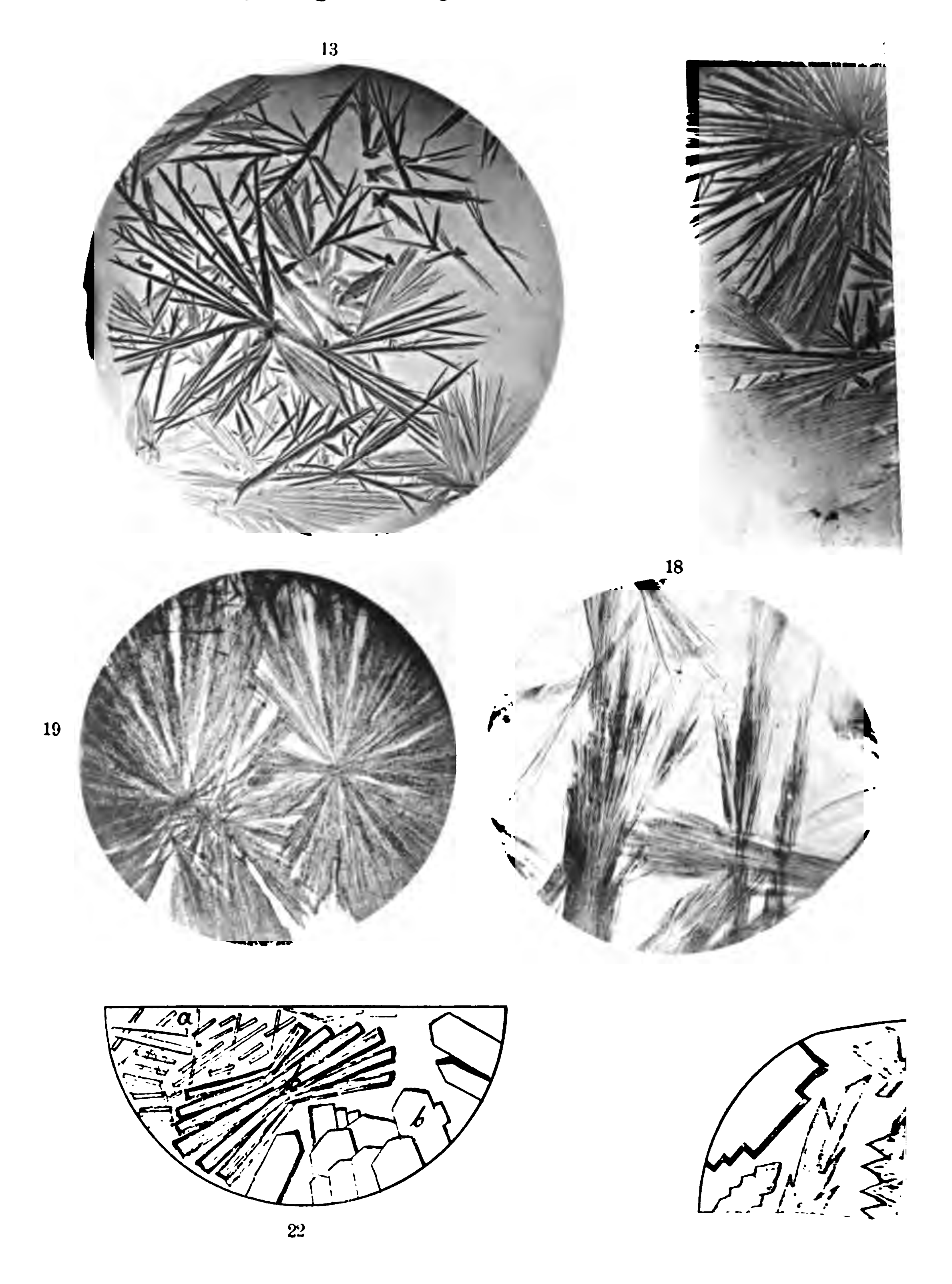




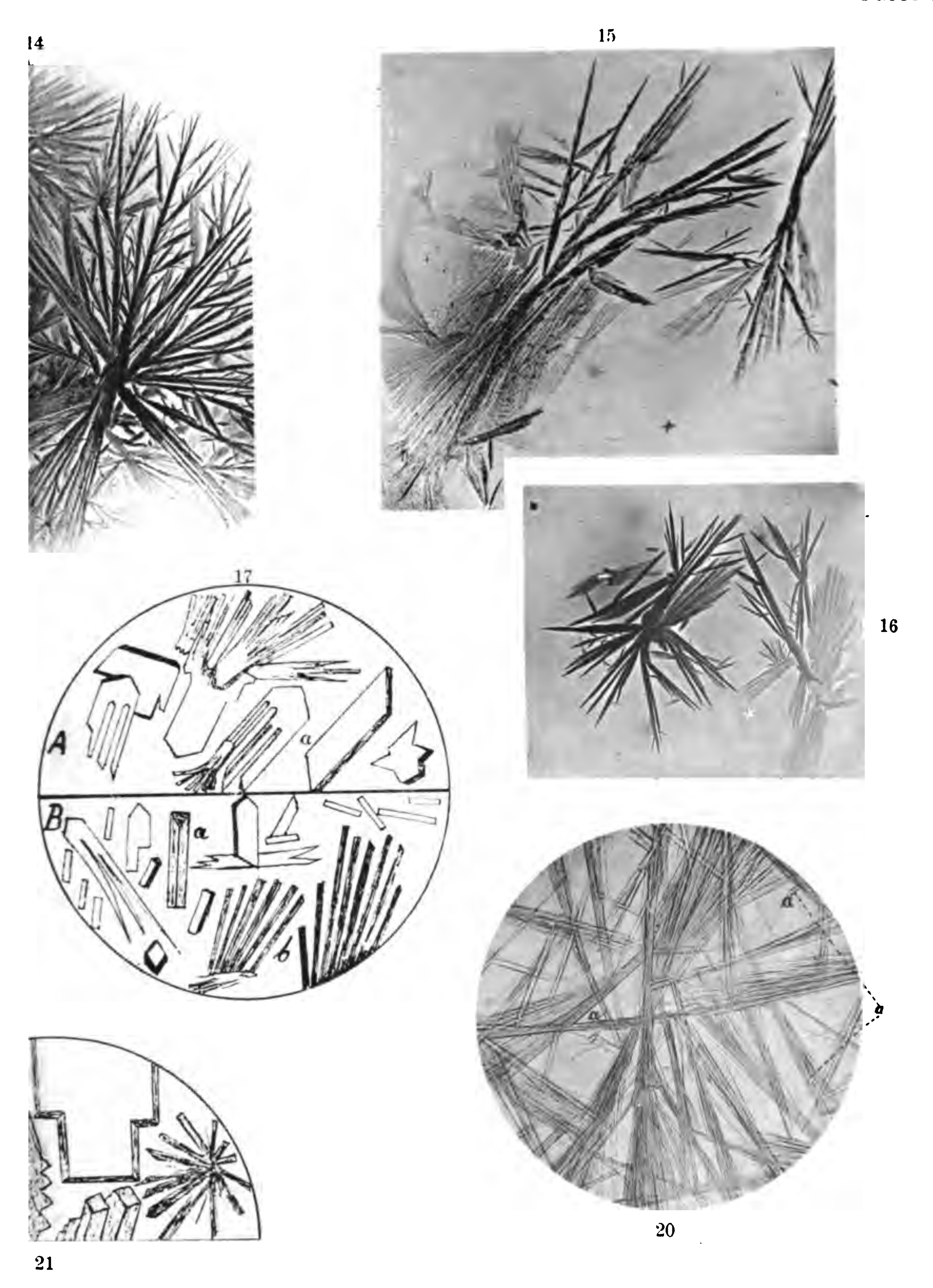
aler & Jonas, Dresden.

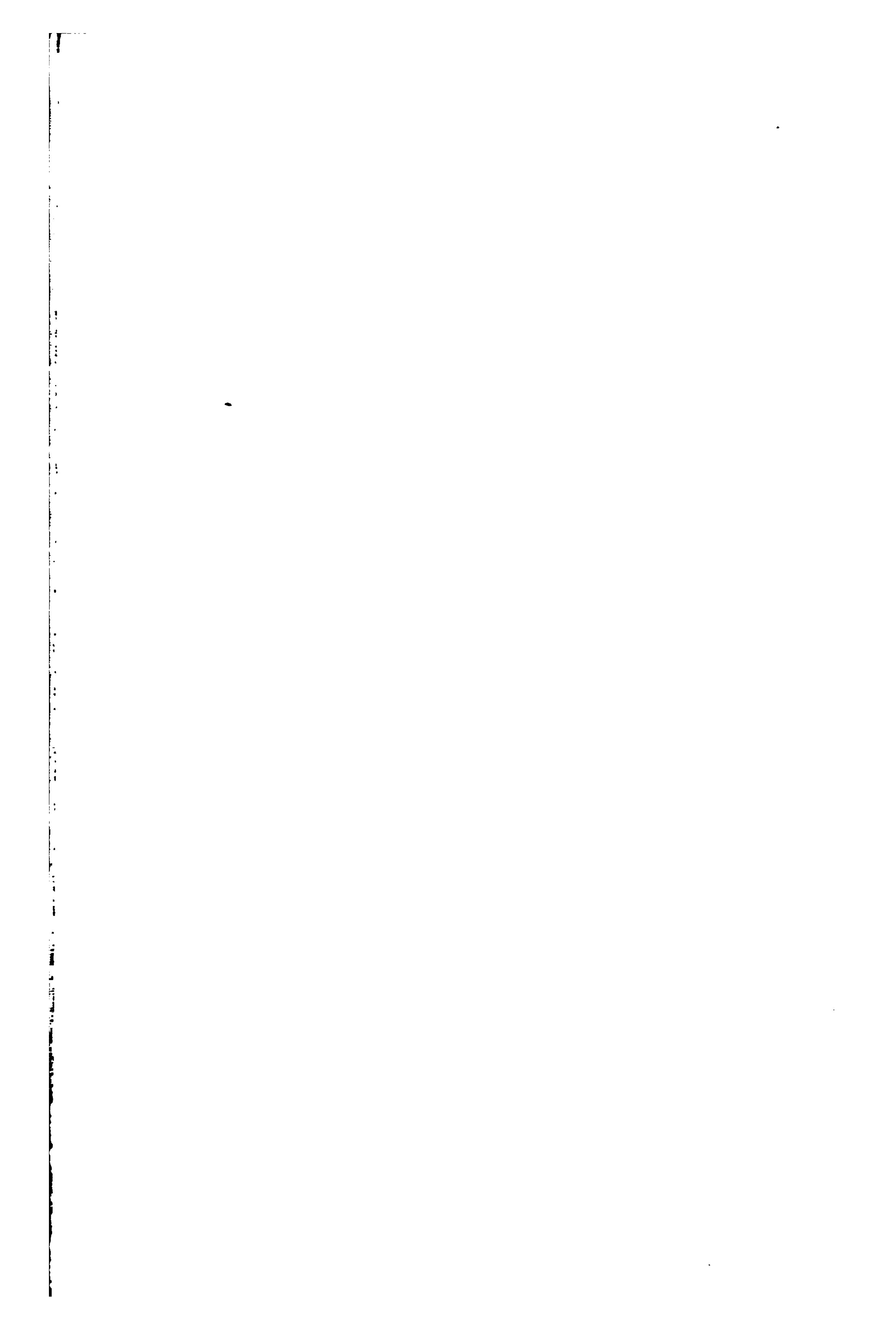


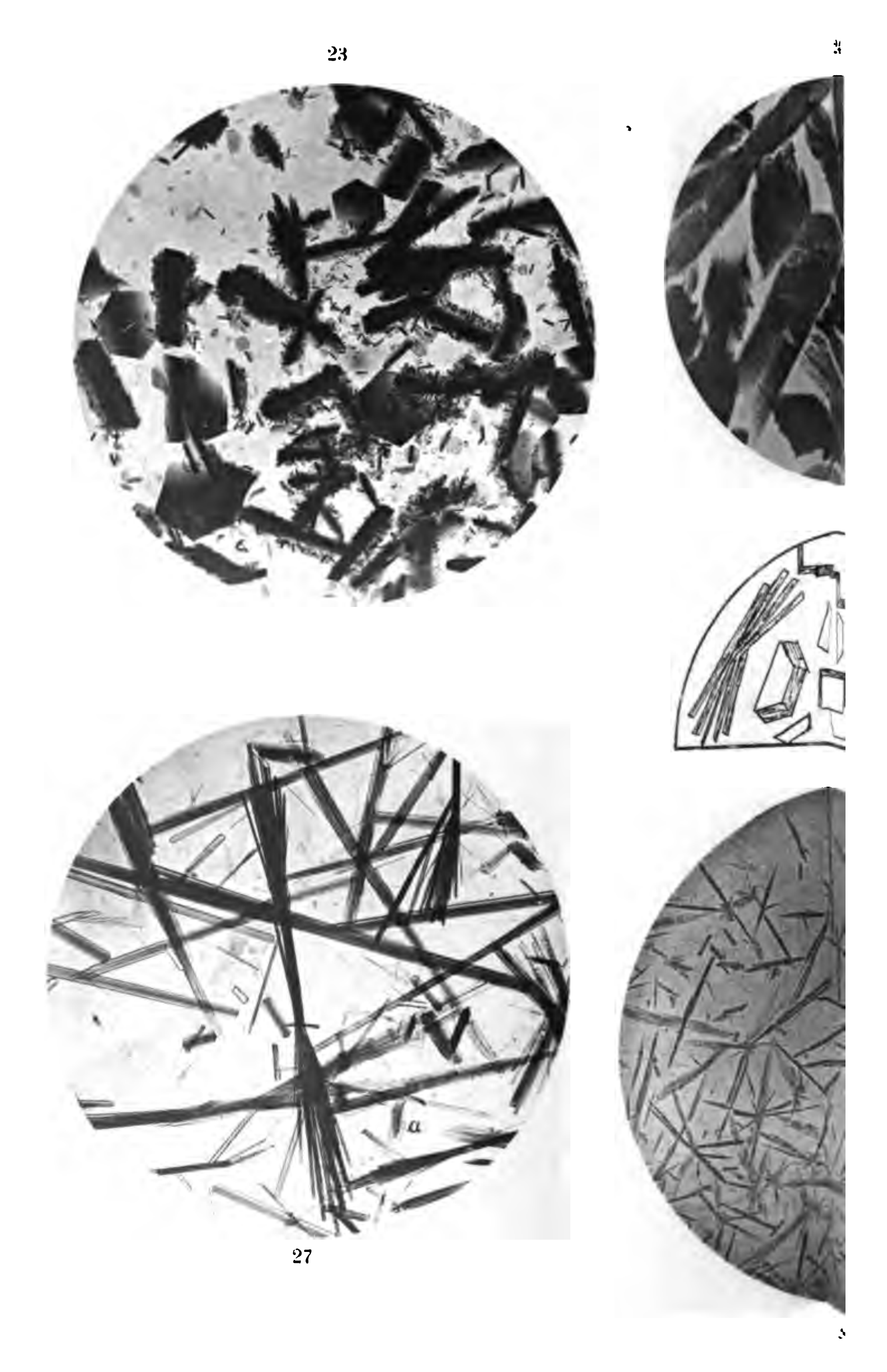
Verlag von Emil Str

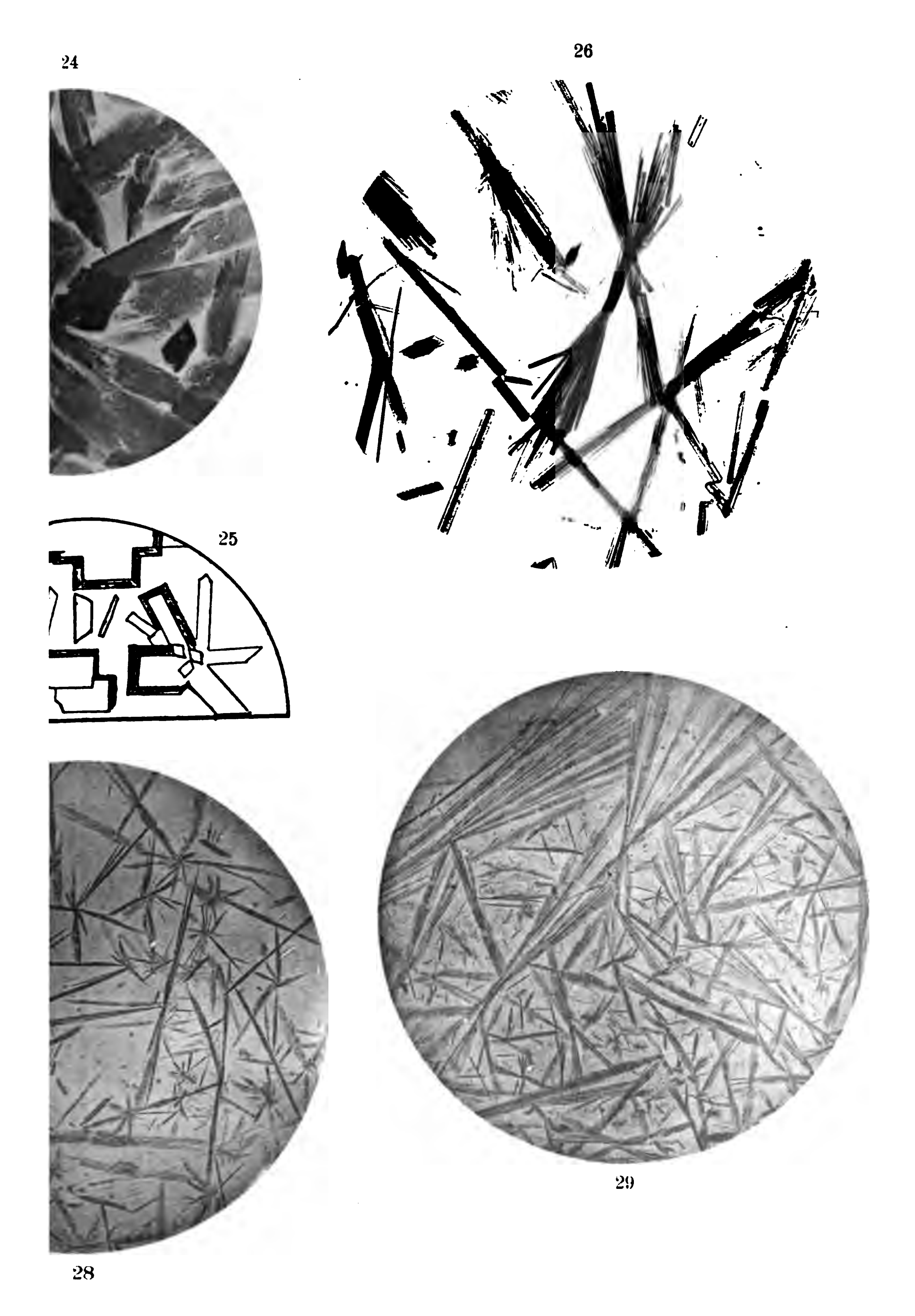


›nas, Dresden.


14
15
16
17
A
a
B
a
b
a
a
a
20
21

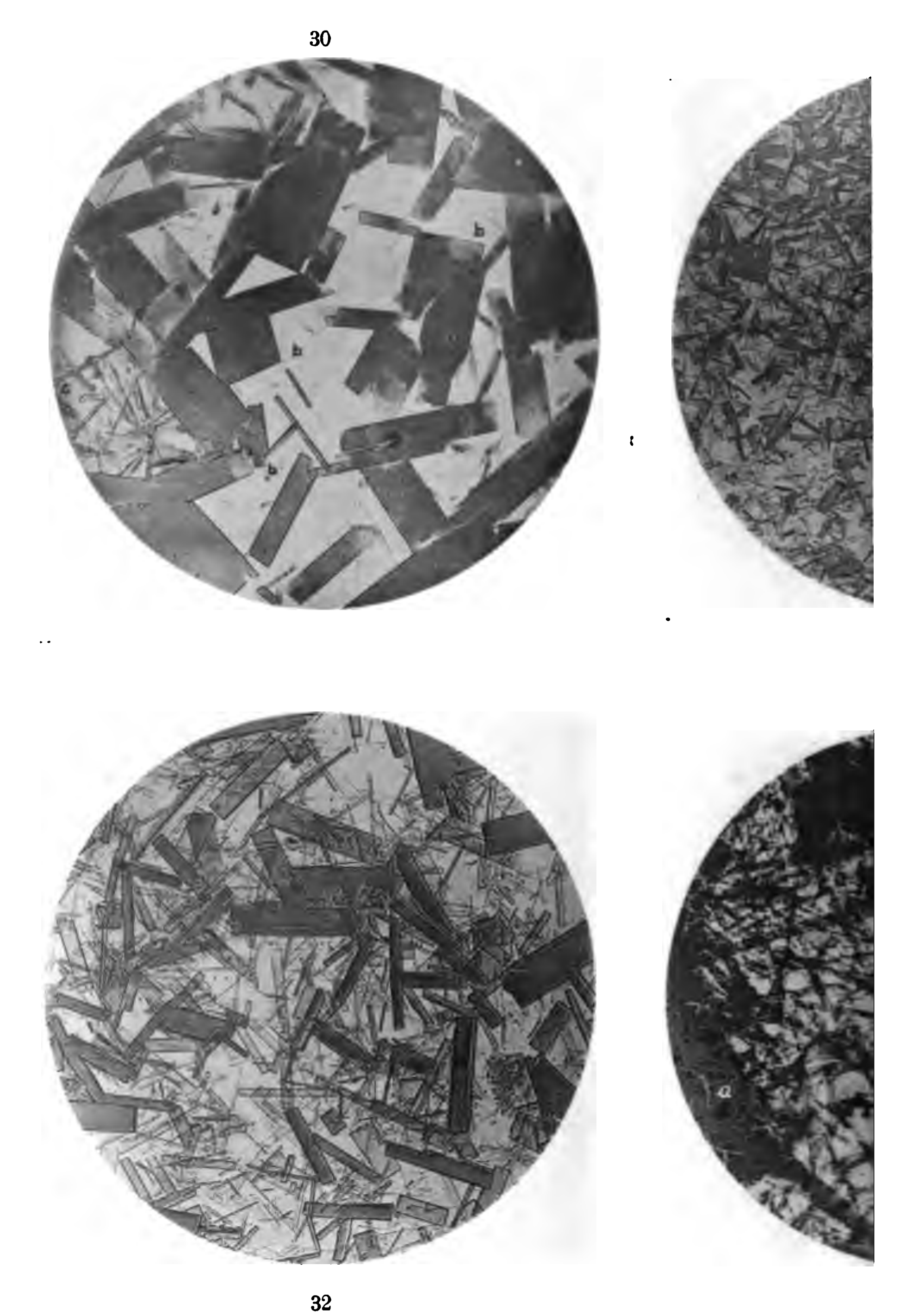



23
27
a



Verlag von Em

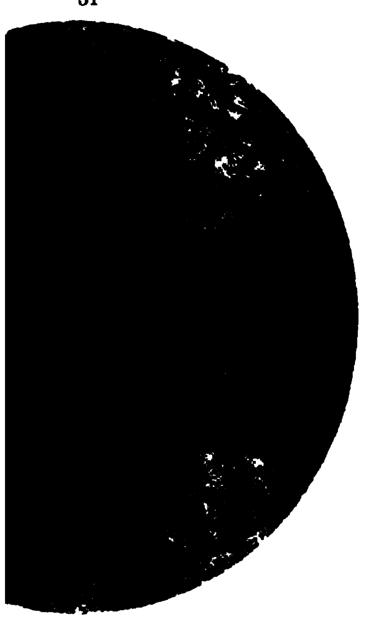




ack von Römmler & Jonas, Dresden.

Tafel XI.

31





33

Verlag von Emil Strauss, Bonn.

. 4fache Linearvergrösserung.
(Nach Moser.) *A.* Frisches
nwand.
össerung.
rgrösserung.
össerung. *a* Oxalatprismen.

› Vergrösserung.
ergrösserung.
›r.)
össerung.
össerung.
›sserung.
össerung.

ıe weitere Behandlung mit
grösserung.
· Wassermethode behandelt

von Fig. 31 bei stärkerer

rung.

(Aus dem patholog.-chemischen Laboratorium der k. k. Krankenanstalt „Rudolfstiftung“ in Wien. [Vorstand: Dr. E. Freund.])

Ueber Zuckerbildung in der Leber bei Durchblutungsversuchen.

II. Mittheilung.

Von

Dr. **Friedrich Kraus** jun., Karlsbad.

Von Claude Bernard wurde zuerst, und zwar hypothetisch, behauptet, dass der thierische Organismus im Stande ist, aus Eiweiss Zucker zu bilden. Seither hat sich über diese Frage eine überaus grosse Literatur entwickelt, und es steht heute trotz vereinzelter, anscheinend gegen eine solche Möglichkeit sprechender Veröffentlichungen, sowohl auf Grund zahlreicher experimenteller Arbeiten als auch klinischer Stoffwechselversuche bei schwerem Diabetes mellitus wohl fest, dass der thierische Organismus im Stande ist, aus Eiweiss Zucker zu bilden. Seegen war der Erste, der durch Beobachtung der Thatsache, dass gewisse Diabetiker trotz kohlehydratfreier Diät reichlich Zucker ausscheiden, zu diesem Resultate gelangte. Nachdem er weiter festgestellt zu haben glaubte, dass ausschliesslich die Leber die Bildungsstätte des Zuckers sei, gelangte er auf Grund einiger später zu erwähnender Arbeiten zu der Annahme, dass die Leber der Ort sei, wo aus Eiweiss Zucker resp. Kohlehydrate entstehen, und suchte dies durch verschiedentlich angeordnete Experimente zu beweisen, die ich hier kurz wiedergeben will.

Seegen ging dabei von folgenden Vorstellungen aus (IX. Vorlesung, S. 135 u. ff.). Die Eiweisskörper werden im Magendarmtract zum grössten Theile in Pepton umgewandelt. „Pepton, in die Circulation gebracht, wirkt wie ein Gift, es muss also unzweifelhaft mit dem Pepton rasch eine Veränderung vor sich gehen, ehe es in die Blutbahn gelangt.“ — Auf Grund einer Arbeit von Ploss und

Gyergyai, die einen starken Peptongehalt im Mesenterial-Venenblut, einen geringen Peptongehalt in der Leber und einen noch geringeren in dem Lebervenenblut angeben und dadurch zu dem Schlusse gelangten, dass die Leber hauptsächlich an der Umbildung des Peptons betheiligt sei, stellte Seegen nun seine Versuche an, die die Fähigkeit der Leber aus Pepton Zucker zu bilden, beweisen sollten.

Die erste Reihe seiner Versuche war derart angeordnet, dass er Leberstücke frisch getödteter Thiere fein zerhackte, theils mit Peptonlösung, theils ohne diese zu Controlbestimmungen aufbewahrte und dann in beiden Partien auf Zunahme von Zucker und Gesammtkohlehydraten untersuchte. — Dabei fand er in den mit Pepton vermischten Leberstücken eine Vermehrung sowohl des Zuckers als auch der Gesammtkohlehydrate, und zwar dauerte die gefundene Zuckervermehrung so lange an als die vitale Zuckerbildung. Später, nach etwa 48 Stunden, war in den mit Pepton vermengten Stücken eher ein geringerer als ein höherer Zuckergehalt nachzuweisen. — Er fand dabei nach 40 Minuten in der Kaninchenleber eine Differenz von 0,6 % Zucker, in der Hundeleber nach 24 Stunden ebenfalls eine Zunahme gegenüber dem Controlstück von 0,5 %.

In einer zweiten Reihe von Versuchen wurden Hunde mit Pepton gefüttert, eine halbe Stunde nach Einfuhr der letzten Peptonmenge getödtet und die Leber derselben sofort in heisses Wasser übertragen und dann der Zuckergehalt der Leber bestimmt. — Während nun die früheren Versuche an nicht mit Pepton gefütterten Thieren einen Zuckergehalt von 0,45—0,55 % ergaben, schwankte in zehn Versuchen der angeführten Art der Zuckergehalt der Leber von 0,45—1,45 %.

In einer dritten Reihe von Versuchen wurde in das Pfortadersystem eines Hundes direct durch eine dem Pfortaderstamme naheliegende grosse Mesenterialvene Peptonlösung injicirt. Die Versuchsthiere verfielen darauf in einen soporösen Zustand, von Hofmeister und Schmidt-Mühlheim als Peptonnarkose bezeichnet. Nach 30—40 Minuten wurde dem getödteten Thiere ein Stück Leber abgeschnitten, gewogen, in siedendes Wasser geworfen und der Zuckergehalt bestimmt. Bei einem Versuche, bei dem das Leberstück eine Stunde nach der Injection entnommen wurde, war der Zuckergehalt 0,52 %, bei den übrigen schwankte er zwischen 0,9—1,25 %; dementsprechend zeigte sich in diesen Fällen das Lebervenenblut sowohl bei Peptoninjection als auch bei der Peptonfütterung zuckerreicher.

Gehalt des Lebervenenblutes an Zucker:

I.	Peptoninjection	0,40 %
II.		0,19 %
III.		0,30 %
IV.	Peptonfütterung	0,16 %
V.		0,43 %
VI.		0,25 %
VII.	normal:	0,17 %
VIII.		0,16 %

In einer weiteren Versuchsreihe wurde Leberbrei von frischen Hundelebern mit Peptonlösung übergossen, „durch arterielles Blut lebend erhalten" und nach etwa dreistündiger Luftdurchleitung der Gehalt an Zucker und Kohlehydraten in diesem Leberstücke mit dem eines anderen Leberstückes verglichen, welches die gleiche Zeit bei gleicher Temperatur ohne Pepton- und Blutzusatz belassen wurde.

In der peptonfreien Versuchsreihe schwankte der Zuckergehalt von 2,3—3 %, in der Peptonreihe von 2,5—3,9 %. Daneben fand sich auch der Gesammtgehalt der Kohlehydrate in der Peptonreihe grösser als in der anderen Versuchsreihe. Um die Einwirkung des arteriellen Blutes als solchen auf die Zucker- und Kohlehydratbildung zu bestimmen, wurden weitere drei gleich schwere Stücke einer Hundeleber entnommen, ein Stück mit Wasser behandelt, auf das zweite Stück 50 ccm Blut, auf das dritte ebenfalls 50 ccm Blut einer wässerigen Lösung von 5,45 g Pepton gegossen; die Kolben, welche die Stücke II und III enthielten, wurden mit einem Luftaspirator in Verbindung gesetzt und drei Stunden lang Luft durchgeleitet. —

	Leberzucker:	Gesammte Kohlehydrate:
I. Mit Wasser . . .	2,94 %	5,0 %
II. Mit Blut	2,94 %	5,0 %
III. Mit Blut + Pepton	3,90 %	6,6 %.

Zur Bestimmung der stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte wurden von der Leber eines frisch getödteten Hundes zwei Stücke abgeschnitten, gewogen und klein geschnitten, in je einem Glaskolben mit 50—100 ccm defibrinirten Blutes desselben Thieres angesetzt, der einen Blut-Lebermischung Peptonlösung, der anderen die zur Peptonlösung nöthige Wassermenge hinzugefügt und durch die beiden Kolben 3—5 Stunden lang Luft durchgeleitet. Dann wurde

jedem Kolben eine bestimmte Menge Blut entnommen, dieselbe enteiweisst, das Filtrat mit Phosphorwolframsäure gefällt und der Stickstoff nach der Methode Schneider-Seegen bestimmt.

Der Stickstoffgehalt (in Gramm) von 100 ccm Blut ohne Pepton schwankte bei sechs Versuchen zwischen 0,04—0,14 g, bei Versuchen mit Pepton von 0,09—0,3 g.

Seegen kommt nun auf Grund dieser Ergebnisse zu folgenden Schlüssen:

1. dass die leistungsfähigen Leberzellen im Stande sind, Pepton zu spalten und aus demselben Zucker zu bilden (S. 145).

2. Das im Magen gebildete Pepton gelangt zum Theile unverändert oder ganz zu Eiweiss regenerirt in die Leber und wird dort in Zucker umgewandelt.

Nachdem schon früher Boehm und Hoffmann sowie Girard auf Grund eigener Versuchsergebnisse die hier vorgebrachten Theorien angegriffen hatten, wandten sich zunächst Chittenden und Lambert gegen Seegen. Dieselben bestimmten bei einer Anzahl von Lebern verschiedener Thiere Zucker und Gesammtkohlehydrate mit und ohne Zusatz von Pepton. Sie fanden zwar in allen Fällen eine Vermehrung der Gesammtkohlehydrate, jedoch nur bei drei von fünf Peptonleberstücken eine nicht erhebliche Zuckerzunahme neben einer gleichzeitigen Glykogenabnahme, die dem Zuckerplus entsprach.

Ferner fanden sie bei zwei Leberstücken, von denen das eine mit Blut, das andere mit Wasser übergossen wurde, in dem mit Blut übergossenen ein durch Glykogenschwund gedecktes Zuckerplus, daneben gleichen Gesammtkohlehydrategehalt in beiden Stücken. Sie sehen in der geringfügigen Zunahme an Zucker keinen Beweis für die Zuckerbildung aus Pepton.

Ihnen gegenüber weist Seegen auf die auch von Chittenden und Lambert zugegebene Vermehrung der Gesammtkohlehydrate hin, da es sich nicht immer sofort um eine manifeste Zuckervermehrung handle, sondern zunächst um Bildung von Zwischenstufen (Dextrinen?) nicht reducirender Art. Wir werden später sehen, wie sich diese scheinbare Vermehrung der Kohlehydrate erklären lässt.

Girard brachte Stücke von glykogenarmen Lebern von durch Krankheit oder schweren Operationen heruntergekommenen Thieren zum Theil mit Glykogen, zum Theil mit Pepton zusammen und liess

gleichzeitig Controlstücke für sich allein liegen. Zu Beginn des Versuchs fand er alle drei Stücke zuckerfrei. Nach einer gewissen Zeit war nur in der Probe, die mit Glykogen zusammengebracht war, Zucker zu finden. Seegen sucht den Widerspruch dadurch zu erklären, dass er sagt, Girard habe seine Versuche nur an kranken Lebern angestellt, die durch die Krankheit die Fähigkeit verloren hätten, aus Eiweiss Zucker zu bilden, während er die Umwandlung von Glykogen auf Rechnung der diastatischen Fähigkeit der Eiweisskörper, somit auch des Lebergewebes bringt. Diesem Einwurfe Seegen's lassen sich jedoch die Ausschaltungsversuche von Fr. Pick, aus denen hervorgeht, dass selbst eine Leberzerstörung, die den Tod nach sich zieht, die Glykosurie eines Phloridzinthieres nicht beeinträchtigt, sowie auch die klinische Erfahrung gegenüberstellen, dass Diabetiker, auch wenn sie an einer anderen schweren Erkrankung, z. B. Phtise, leiden und in ihrer Ernährung schwer geschädigt sind, noch immer reichlich Zucker ausscheiden. Hofmeister zweifelt aus theoretischen Gründen an der Beweiskraft der Seegen'schen Versuche, da dieselben zwar, selbst wenn man nur die Versuchsergebnisse in Betracht zieht und die Methoden und die Anordnung der Versuche gelten lässt, nur den Schluss zulassen, dass die Anwesenheit von Pepton die Zuckerbildung begünstigt, dass, selbst wenn Pepton dabei verschwindet, damit noch nicht gesagt sei, dass es zur Zuckerbildung benützt wird; es kann die Leberzelle dasselbe zu ihrer Ernährung brauchen und dabei verschwinden lassen, während in Folge der gesteigerten Lebensenergie auch die Zuckerbildung gesteigert wird.

Neumeister führt folgende Gründe gegen Seegen in's Feld:

1. Gelangt nach Salvioli, Hofmeister und Neumeister Pepton, vom Darm aus resorbirt, nicht zur Leber, da es bereits in der Darmschleimhaut verändert wird.

2. Wendet er gegen die Beweiskraft der Injectionsversuche in die Pfortader ein, dass eine solche zu schweren abdominalen Circulationsstörungen führt, die erfahrungsgemäss eine vermehrte Umsetzung in der Leber veranlassen: daher die Vermehrung des Eigenzuckergehaltes der Leber.

3. Gegenüber der dritten Versuchsreihe Seegen's verweist er auf die mögliche Ungleichheit des Glykogengehaltes der Leberstücke. — Die anscheinende Vermehrung der Gesammtkohlehydrate, die auch Chittenden und Lambert finden, setzt er auf Rechnung

der angewandten Fehling'schen Titrationsmethode, die bei Gegenwart von Pepton ungenaue Resultate ergibt. Die Vermehrung des Stickstoffgehaltes hält er ebenfalls nur für scheinbar, da die Peptone durch Phosphorwolframsäure nur zum Theil niedergeschlagen würden, und schliesslich fand er bei einem eigenen Versuche keine Zuckerbildung aus Eiweiss. Er nimmt die glykogenfreie Leber eines acht Tage hungernden Kaninchens, wiegt gleiche Portionen derselben ab, erhitzt ein Controlstück zur Vernichtung der Zellthätigkeit auf 62 °, lässt das andere intact und fügt Pepton und Blut hinzu, lässt es zwei Stunden stehen, wobei er das Blut durch Aspiration frischer Luft arterialisirt, und kann dann in diesem Stücke keinen Zucker nachweisen.

Bial zeigte in seinen Versuchen, dass bei der Digestion von Leberbrei mit Blut mehr Zucker gebildet wird als bei der Digestion mit Kochsalzlösung, und führte dies darauf zurück, dass der durch Entblutung ihres diastatischen Fermentes beraubten Leber mit dem zugefügten Blut auch wieder frisches Ferment zugeführt wird. — Die Versuche, betreffend die Zunahme der Zuckergehalte bei Anwesenheit von Pepton, wurden auf die diastatische Wirkung bezogen, da die Vermehrung der diastatischen Wirkung vom Blutserum durch Peptonzusatz sich nachweisen liess. Um auch noch das Ergebniss des Neumeister'schen Versuches zu bekräftigen, da Seegen gegen denselben den Einwand der durch Hunger herabgesetzten Energie der Leberzellen machen konnte, wiederholte Bial Seegen's Versuche und fand theils keine, theils geringe Zuckervermehrung in dem Pepton-Leberstück gegenüber dem Controlstück. — Die Differenz seiner Resultate von denen Seegen's scheint ihm dadurch begründet, dass Seegen den Einfluss des Peptons auf die Zuckerbestimmung nicht berücksichtigt, doch weist Seegen selbst diesen Einwurf als unbegründet zurück.

Eine weitere experimentelle Arbeit, die bei der Nachprüfung der Seegen'schen Angaben zu einem den letzteren entgegengesetzten Ergebniss führt, stammt von Zuntz und Cavazzani.

Sie entbluteten einen Hund, nahmen die Leber heraus, zerschnitten dieselbe und warfen eine abgewogene Menge in siedendes Wasser; gleiche Mengen wurden in Kölbchen mit Blut, Blut und Pepton u. s. w. angesetzt, durch die Kölbchen frische Luft geleitet, dann nach 1—4 Stunden Zucker, Glykogen und Gesammtkohlehydrate bestimmt. — Sie fanden, dass der Zucker nur dem Glykogen ent-

stamme, und erklärten die gegensätzlichen Ergebnisse Seegen's dadurch, dass ein Theil des Glykogens in der Leber so fest gebunden sei, dass derselbe ohne Zerkochen der Substanz mit 2 % Kalilauge (Külz) nicht gewonnen werden kann; die Menge dieses festgebundenen Glykogens nimmt beim Digeriren mit Blut bedeutend ab. — Seegen hat die Leber nur in Wasser bis zum Verschwinden der Glykogenreaction ausgekocht, hat also eine bis zu 25 % des ganzen Glykogengehaltes ausmachende Glykogenmenge vernachlässigt; da er aber aus digerirten Proben fast alles Glykogen in den wässrigen Auszügen erhielt, macht dies, wenn noch keine Glykolyse stattgefunden, den Anschein einer Neubildung von Kohlehydrat.

Naunyn berichtet von Versuchen, die Dr. Gerhardt ausgeführt hat, die nicht für eine postmortale Zuckerbildung aus Eiweiss in der Leber sprechen.

Langstein findet die den Seegen'schen Versuchen gegensätzlichen für nicht genügend, um dieselben hinfällig zu machen, und verlegt den Schwerpunkt derselben nicht in die Zucker-, sondern in die Gesammt-Kohlehydratzunahme. Die directe Zuckerbildung aus Pepton im lebenden Organismus aber hält er für unmöglich; bei den Seegen'schen Versuchen mit Wittepepton könnte es sich möglicher Weise um einen synthetischen Process handeln, da Wittepepton auch Spaltungsproducte enthält, die keinen Eiweisscharakter zeigen.

Um allen Einwürfen, die gegen die Beweiskraft der Versuche Seegen's als auch der seiner Gegner gemacht wurden, auszuweichen, habe ich die später auch von Langstein empfohlene Durchblutungsmethode an der überlebenden Leber gewählt und alle für die Zuckerbildung aus Eiweiss respective Pepton und Albumosen in Betracht kommenden Factoren einzeln zu bestimmen getrachtet. Ich habe desshalb bei allen Versuchen vor und nach der Durchblutung den Gesammtstickstoff der zur Durchblutung benutzten Blutmischung bestimmt, ferner den Stickstoff derselben nach Ausfällung der coagulablen Substanzen und in jenen Fällen, in denen Wittepepton, ein Albumosengemisch, der Blutmischung zugefügt wurde, auch den Gehalt an Albumosen, die durch Sättigung mit Zinksulfat ausfällbar sind, sowie den Gehalt an jenen Körpern, welche durch Phosphorwolframsäure-Salzsäuregemisch fällbar sind, das sind alle Albumosen, Peptone, Diamidosäuren, Ammoniak u. s. w.

Alle Werthe wurden durch Doppelanalysen gewonnen, und zwar nach Kjehldahl. —

Zur Bestimmung des Zuckers habe ich mich der von Seegen empfohlenen Methode mit Essigsäure und Natriumcarbonat zur Enteiweissung bedient, zur Titration der Knapp'schen Methode, die ja durch den Einfluss des Schwefelalkali auf die Endreaction auch eine geringe Fehlerquelle in sich birgt, welche aber nach Bial bei einem Gehalt der zu titrirenden Flüssigkeit von weniger als 1 % Pepton vernachlässigt werden kann. — Ich habe mich durch eine Reihe von Vorversuchen, bei denen ich zur Titration Fehling'sche Lösung benützte, von der Unbrauchbarkeit der Fehling'schen Methode zur Zuckerbestimmung in pepton- resp. albumosehaltigen Flüssigkeiten überzeugt, da durch das Pepton stets ein ansehnlicher Teil des Kupfers in Lösung gehalten wird, wodurch die Endreaction undeutlich wird, und die erhaltenen Zahlenwerte sich viel zu hoch darstellen, selbst wenn man es versucht, die völlige Reduction des Kupfers durch die sonst sehr scharfe Tüpfelmethode mit Essigsäure-Ferrocyankalilösung zu bestimmen. Fällt man die Albumosen und Peptone durch Phosphorwolframsäure-Salzsäure, so wird zwar die Biuretreaction nicht mehr so störend wirken, aber ein Zuckerverlust durch die massige Phosphorwolframsäurefällung unvermeidlich sein. Um einen weiteren Zuckerverlust durch Glykolyse zu vermeiden, wurde jeder zur Analyse bestimmte Theil der benutzten Mischung sofort mit Essigsäure zum Sieden erhitzt. Eine Bestimmung des Glykogengehaltes, des Zuckergehaltes der Leber direct, sowie des Gehaltes an Gesammt-Kohlehydraten vor und nach einer künstlichen Durchblutung ist technisch schwer ausführbar und wäre auch nicht beweiskräftig, da die verschiedenen Stücke derselben Leber nicht gleichwerthig sein müssen.

Zur Durchblutung habe ich den im gleichen Archiv beschriebenen Durchblutungsapparat von E. Freund benutzt. Die Hunde wurden in Morphium-Chloroformnarkose rasch entblutet, Abdomen und Thorax geöffnet, die Vena cava ascendens knapp ausserhalb der Leber unterbunden, ebenso die Arteria hepatica, die Vena portae frei präparirt, ein Hauptast derselben durch Abbindungen isolirt und mit der zuführenden Canüle des Durchblutungsapparates armirt, in die Vena cava ascendens oberhalb des Zwerchfelles die abführende (venöse) Canüle des Apparates eingebunden. Sofort nach der Entnahme wurde das erhaltene Blut defibrinirt und colirt. Die benutzte Peptonlösung war circa 10 %ig und durch Aufkochen sterilisirt. Die

Blutmischung wurde während der Durchblutung durch zugeführten Sauerstoff arterialisirt, die Temperatur von Blutmischung und Organ auf 36° bis 38° gehalten. — Die zu den Versuchen benutzten Hunde wurden theils mit gemischtem Futter reichlich ernährt behufs Glykogenansatzes, theils durch Hunger und subcutane Injection von Phloridzinlösung in grossen Dosen glykogenarm gemacht. Ein etwaiger Einwurf, dass durch dieses Gift die Leber in der zuckerbildenden Function geschädigt würde, entfällt wohl von selbst. —

I. Versuch.

Reichlich gefütterter Hund. Dauer der Durchblutung der Leber: 2 Stunden. Benutzte Mischung: 200 ccm Blut + 1000 ccm physiologische Kochsalzlösung. Gesammtstickstoff der Blutmischung vor der Durchblutung: 1,148 g. Gesammtstickstoff der Blutmischung nach der Durchblutung: 1,274 g in 100 ccm Blut. Stickstoff der nicht coagulirbaren Körper vorher: 0,02 %, Stickstoff der nicht coagulirbaren Körper nachher: 0,01 %. Zuckergehalt der Mischung vor der Durchblutung: 0,02 % (bestimmt nach Fehling) nach der Durchblutung: 0,10 %.

II. Versuch.

Reichlich gefütterter Hund. Dauer der Durchblutung: 2 Stunden. Benutzte Mischung: 200 ccm 10%ige Peptonlösung + 400 ccm 0,6%ige NaCl-Lösung + 400 ccm Blut. Gesammtstickstoff der Mischung vorher: 1,68 g in 100 ccm, Gesammtstickstoff der Mischung nachher: 1,46 g in 100 ccm. Stickstoff der nicht coagulirbaren Körper vorher: 0,56 %, Stickstoff der nicht coagulirbaren Körper nachher: 0,29 %. Stickstoff der Zinksulfatfällung vorher: 0,14 g in 100 ccm. Stickstoff der Zinksulfatfällung nachher: 0,13 g in 100 ccm. Stickstoff der Phosphorwolframsäurefällung vorher: 0,25 g. Stickstoff der Phosphorwolframsäurefällung nachher: 0,24 g. Zucker der benutzten Mischung vorher: 0,07 %, (titrirt nach Knapp) nachher: 0,21 %.

Die auf alle vier Stickstoffzahlen sich beziehende, ziemlich gleichmässige Verminderung nach der Durchblutung liess an eine Verdünnung durch in der Leber zurückgehaltene Flüssigkeit denken; es wurden desshalb die nächsten Versuche so modificirt, dass behufs besserer Mischung das erste Quantum Blut zur Untersuchung dem Apparate erst nach einer viertelstündigen Durchblutung entnommen wurde.

Die Resultate weiterer drei Versuche mit Pepton gibt folgende Tabelle:

Versuchszahl	Thier	Dauer der Durchblutung	Mischung	Gesammt-N. 1. vorh., 2. nachh.	Stickstoff der nicht coagulablen Substanzen 1. vorh., 2. nachh.	Stickstoff der Zinksulfat-fällung 1. vorh., 2. nachh.	N der Phosphor-wolframsäure-Salzsäurefällung 1. vorh., 2. nachh.	Zucker 1. vorh., 2. nachh.
III	normal gefüttert	$^3/_4$	200 ccm 10 %ige Peptonlösung, 300 ccm physiologische NaCl-Lösung, 560 ccm Blut.	2,06 2,06	0,71 0,70	0,15 0,15	0,24 0,24	0,23 0,27
IV	Phloridzin-hungerthier	2	200 ccm Blut, 200 ccm Peptonlösung, 600 ccm physiologische NaCl-Lösung	1,05 1,09	0,32 0,28	0,15 0,13	0,23 0,22	0,06 0,06
V	„	2	230 ccm Blut, 200 ccm Pepton, 600 ccm Kochsalzlösung	1,19 1,39	0,28 0,26	0,09 0,12	0,25 0,21	0,09 0,14

Wenn wir nun die Resultate dieser Versuche betrachten, so finden wir wohl eine Zunahme des Zuckergehaltes, und zwar innerhalb der ersten zwei Stunden anscheinend um's Fünf- bezw. Dreifache (in den ersten zwei Fällen). Der nächste Versuch lehrt uns jedoch schon, dass diese Vermehrung wahrscheinlich auf ausgeschwemmten präformirten Leberzucker resp. Umsetzung von Glykogen in Zucker zu beziehen ist, und bei den Lebern, die durch Hunger und Phloridzin glykogenarm gemacht wurden, finden wir in dem einen Falle IV, in dem die Leber vor der Durchblutung von der darin enthaltenen Durchspülungsflüssigkeit nebst Blut durch Absaugen befreit wurde, gar keine Differenz, im letzten Falle, wo dies nicht geschah, eine Differenz von 0,05 %.

Vergleicht man ferner die geringfügigen Unterschiede in dem Gehalt von Albumosen (Zinksulfatfällung) und Pepton (Phosphorwolframsäure), die noch innerhalb der Fehlergrenze der Methode liegen, so muss man wohl zu dem Schlusse kommen, dass der Zucker dem Glykogen entstammt, und dass die Leber nicht im Stande ist, „Pepton“ zu zerschlagen, was auch mit Töpfer's Angaben gut übereinstimmt. Die von Seegen gefundene Vermehrung der Zerfallsproducte lässt sich vielleicht zum Theil auf autolytische, zum Theil auf bakterielle Zersetzungsvorgänge, zum Theil auf die verwendete Methode zurückführen. Wir haben diesen Versuchen zwei weitere angeschlossen, in denen wir Globulin zur Blutmischung zusetzten, das ja nach den neueren Angaben eine Kohlehydratgruppe enthält. — Das in beiden Versuchen verwendete Globulin wurde aus Rinderserum

durch mehrfaches Ausfällen mit Ammoniumsulfat gewonnen und durch Dialyse von Salzresten befreit.

VI. Versuch.

Glykogenreiches Thier. Dauer der Durchblutung: 2 Stunden. Mischung: 330 ccm Blut, 100 ccm Globulinlösung, 600 ccm physiologische Kochsalzlösung. Gesammtstickstoff der Mischung (entnommen 1/4 Stunde nach Beginn der Durchblutung und zum Schlusse): 1,22 % vorher, 1,21 % nachher. Stickstoffgehalt der nicht coagulablen Substanzen in 100 ccm, vorher: 0,02 %, nachher: 0,01 %. Zuckergehalt vorher: 0,08 %. Zuckergehalt nachher: 0,30 %.

Auch dieser Versuch zeigt eine auffallende Verschiebung der Zuckerwerthe bei einem Gleichbleiben der Stickstoffzahlen, es ist dieselbe also am leichtesten auf das Glykogen zurückzuführen.

In einem weiteren Versuche wurde Leber, Magen, Darm, Pankreas und Milz durchblutet.

Phloridzin-Hungerthier. — Das Abdomen und der Thorax werden nach Entblutung bei Schonung des Diaphragmas geöffnet, die Vena cava und Aorta oberhalb des Abganges der Venae ren. und Arteriae ren. abgebunden, die zuführende Canüle in die Aorta oberhalb des Zwerchfells eingeführt, die von der Aorta abgehenden Intercostalarterien sorgfältig abgebunden; die abführende Canüle in die Vena cava ascendens eingebunden.

Dauer der Durchblutung: 1 1/4 Stunde.

Mischung: 400 ccm Blut, 100 ccm Globulinlösung, 500 ccm physiologische Kochsalzlösung.

Ein grosser Theil der Mischung wird in der Darmwand zurückbehalten, dieselbe erscheint ödematös; nach der Durchblutung geöffnet, zeigt sich der Darm leer, nur Darmsecret enthaltend.

Gesammtstickstoff vorher 1,71 % (erste Probe nach einviertelstündiger Durchblutung entnommen), Gesammtstickstoff nachher: 1,95 %. Filtratstickstoff vorher: 0,04 %, Filtratstickstoff nachher: 0,07 %. Zucker vorher: 0,12 %, Zucker nachher: 0,14 %.

In diesem Versuche findet sich nach der Durchblutung eine Vermehrung des nicht coagulablen Stickstoffes, während sich in den übrigen Phloridzinversuchen nur Vermehrung des coagulirbaren Stickstoffes ohne Vermehrung des nicht coagulablen zu finden ist.

Da in sämmtlichen früheren Versuchen keine Vermehrung nichtcoagulabler stickstoffhaltiger Körper eingetreten war, so liegt es auch nicht nahe, in dem letzten Versuche die Vermehrung der nicht coagulablen Eiweisskörper auf Auswaschung zu beziehen, und es er-

scheint um so eher gestattet, diese Vermehrung auf Spaltung von Eisweisskörpern zu beziehen, als sich auch die Gegenwart von Albumosen im Blute nach der Durchblutung nachweisen liess.

Aber auch in diesem Falle zeigt sich nur eine ganz geringfügige, wohl in die Breite der Versuchsfehler fallende Zuckervermehrung.

Es erscheint daher auch nach diesem Versuche nicht nachgewiesen, dass die Leber die Stätte der Zuckerbildung aus Eiweiss ist.

Literatur.

1) Seegen, Die Zuckerbildung im Thierkörper u. s. w. 1902.
2) Plósz und Gyergyai, Ueber Peptone . . . ., Pflüger's Arch. Bd. 10.
3) Boehm und Hoffmann, Pflüger's Archiv Bd. 23.
4) Girard, Ueber die postmortale Zuckerbildung in der Leber. Pflüger's Archiv Bd. 41.
5) Fr. Pick, Ueber die Beziehungen der Leber zum Kohlehydratwechsel.
6) Bial, Ueber die Beziehungen des diastatischen Fermentes, des Blutes und der Lymphe zur Zuckerbildung in der Leber. Pflüger's Archiv Bd. 55.
7) Chittenden und Lambert, citirt nach Bial.
8) Hofmeister, Archiv für experim. Pathologie und Therapie Bd. 19. 1885.
9) Neumeister, Zur Physiologie der Eiweissresorption und zur Lehre von den Peptonen. Zeitschr. f. Biologie. Neue Folge Bd. 9.
10) Zuntz und Cavazzani, Ueber die Zuckerbildung in der Leber. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1898.
11) Gerhardt (bei Naunyn, Diabetes mellitus.)
12) Langstein, Die Bildung von Kohlehydraten aus Eiweiss. Ergebnisse der Physiologie Bd. 1 S. 1.
13) E. Freund, Siehe Fr. Kraus: Ueber Zuckerbildung. Pflüger's Archiv Bd. 90.
14) G. Töpfer, Ueber den Abbau. Wiener klin. Wochenschr. 1902.

Beobachtungen über das foveale Sehen der total Farbenblinden.

Von

Prof. **C. Hess** (Würzburg).

I.

Bekanntlich wurde in den letzten Jahren zur Erklärung des Sehens der total Farbenblinden wiederholt die Annahme gemacht, dass hier lediglich Stäbchen in der Netzhaut functionsfähig seien, und man hat demgemäss die total Farbenblinden als „Stäbchenseher" bezeichnet.

Im Speciellen sind folgende vier Hypothesen aufgestellt worden:

1. Es soll lediglich Mangel oder Functionsunfähigkeit des Zapfenapparats vorliegen, während die sonstigen Verhältnisse, insbesondere die räumliche Vertheilung der Stäbchen, mit der Norm übereinstimmen.

2. Es sollen überall statt der Zapfen Stäbchen gebildet sein.

3. Es sollen den supponirten fovealen, an Stelle der Zapfen gebildeten Stäbchen andere Leitungsverhältnisse zukommen als den extrafovealen.

4. Es sollen diese fovealen Stäbchen einen geringeren Sehpurpurgehalt besitzen als die extrafovealen.

Die erste Hypothese ist widerlegt durch den Nachweis, dass bei mehr als der Hälfte der bisher untersuchten total Farbenblinden trotz eifrigsten Suchens eine der Fovea entsprechende blinde Stelle nicht nachgewiesen bezw. das Vorhandensein einer solchen sicher ausgeschlossen werden konnte[1]).

Es besteht auf manchen Seiten noch eine gewisse Neigung, für jene Fälle, wo ein centrales Skotom nicht nachgewiesen werden

---

1) Vgl. Hess und Hering, Untersuchungen an total Farbenblinden. Pflüger's Arch. Bd. 71 S. 105. — Hess, Weitere Untersuchungen über totale Farbenblindheit. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 29 S. 99. — Hess, Ueber den Ablauf des Erregungsvorgangs u. s. w. Arch. f. Ophthal. Bd. 51 (2) S. 225.

konnte, die Möglichkeit einer nicht genügend genauen Untersuchung zu betonen. Demgegenüber möchte ich folgende vier Punkte hervorheben:

Erstens konnte in den sechs von Hering und von mir untersuchten Fällen eine deutliche foveale Minderempfindlichkeit bei herabgesetzter Beleuchtung nachgewiesen werden, die bei hellerer Beleuchtung nicht vorhanden war. Diese Beobachtung lässt sich schwer mit der Annahme vereinigen, dass hier ein centraler Gesichtsfeldausfall vorhanden, aber nicht nachweisbar gewesen sei.

Zweitens scheinen mir manche der üblichen Methoden, deren man sich zum Nachweise eines fovealen Gesichtsfeldausfalles zu bedienen pflegt, durchaus nicht so einwandfrei, als vielfach angenommen wird. Wenn man gar das schlechte Sehen der total Farbenblinden im hellen Lichte auf hochgradige locale Adaptation infolge leichter Ermüdbarkeit der Stäbchen bezieht[1]) (wie thatsächlich geschehen ist), wird man besondere Bedenken tragen müssen, aus dem Unsichtbarwerden kleiner Sehobjecte bei so herabgesetzter Sehschärfe ohne Weiteres auf einen entsprechenden Gesichtsfeldausfall zu schliessen. Dass für die vorliegende Frage solchen Defecten keine grosse Bedeutung zugeschrieben werden kann, die sich nur nachweisen lassen mit Sehobjecten, deren Flächeninhalt weniger als $^{1}/_{140}$ von dem dem normalen stäbchenfreien Bezirke entsprechenden beträgt, bedarf keiner Erörterung.

Wie vorsichtig man in der Beurtheilung des Nachweises eines centralen Skotoms überhaupt sein muss, zeigt u. A. die Erfahrung, dass noch vor wenigen Jahren die Behauptung aufgestellt werden konnte, die Fovea des normalen Auges sei blaublind, habe also ein Skotom für Blau (das, auf 1 m Abstand projicirt, einen Durchmesser von 17—20 mm haben sollte), und dass für den Nachweis eines solchen angeblichen Skotoms die Beobachtungen an den Augen mehrerer anerkannt ausgezeichneter und sorgfältiger Beobachter angeführt werden konnten.

Im Hinblicke auf eine unrichtige Wiedergabe meiner Arbeiten sei ausdrücklich betont, dass ich die Möglichkeit des Vorkommens eines centralen Gesichtsfeldausfalles beim total Farbenblinden niemals

1) Die gegen eine solche Annahme zu erhebenden Bedenken habe ich früher eingehender erörtert.

bestritten und mehrfach ausdrücklich betont habe, es könne einem solchen eine Bedeutung für das Verständniss der totalen Farbenblindheit nicht zukommen.

Drittens: Da man bei Erörterung der Schwierigkeiten der Untersuchung auf foveales Skotom gerne den „unüberwindlichen" Nystagmus betont, sei darauf hingewiesen, dass ich schon vor mehreren Jahren eine einfache (auf Momentbelichtung beruhende) Methode angegeben habe[1]), mit deren Hülfe der störende Einfluss des Nystagmus sich sehr leicht überwinden lässt. Ich habe mit dieser Methode auch neuerdings wieder bei der schon früher von mir untersuchten Frl. M. Untersuchungen angestellt, welche einen weiteren Beweis für das Fehlen eines centralen Skotoms bei ihr erbrachten.

Viertens sei hier eine neue Beobachtung angeführt, die in besonders eindringlicher Weise das foveale Sehen total Farbenblinder beweist.

Die zuerst vor drei Jahren von mir untersuchte[2]), jetzt 23jährige, total farbenblinde Frl. M. kann mit ihrem linken Auge (leichte Myopie mit Astigmatismus, $S = 1/_{5}$) genügend fixiren, um auch von kleineren hellen Objecten kräftige Nachbilder zu erhalten. In der Mitte eines grossen mattschwarzen Cartons waren sieben kreisrunde Löcher von je 6 mm Durchmesser so ausgeschlagen, dass sechs in Form eines regelmässigen Sechseckes um den mittleren, siebenten angeordnet waren. Der Carton war über eine vertical stehende, von rückwärts passend beleuchtete Milchglasplatte gespannt. Die äusseren Ränder je zweier einander gegenüber liegender Löcher standen um 36 mm von einander ab. Fixirte die Patientin aus einem Abstande von 120 cm von der schwarzen Fläche das in Augenhöhe befindliche mittlere Scheibchen, so bildeten sich, wenn man die üblichen Maassangaben für den Durchmesser des stäbchenfreien Bezirks zu Grunde legt, sämmtliche sieben Scheibchen vollständig auf stäbchenfreiem Gebiete ab. Die Dame fixirte gleichzeitig mit einer normalen Vergleichsperson während 10 Secunden die Mitte der Figur; nach Verdecken der Augen sah sie ungefähr gleichzeitig mit dem Normalen sieben von hellen Lichthöfen umgebene dunkle, runde Flecke, die für sie ungefähr ebenso lange

1) Vgl. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane Bd. 29 S. 100.
2) Arch. f. Ophthal. Bd. 51 (2) S. 248.

sichtbar blieben wie für uns. Uebereinstimmend mit uns gab sie auch an, dass das mittlere und die excentrischen Scheibchen zuweilen nicht gleichzeitig auftauchten bezw. verschwanden. Der Versuch wurde öfter mit gleichem Ergebnisse wiederholt. Er zeigt, dass total Farbenblinde von Sehobjecten, die vollständig auf fovealem Gebiete abgebildet werden, ähnliche oder gleiche und gleich lang dauernde Nachbilder erhalten können wie der Normale.

Die oben unter Nr. 2 angeführte Hypothese, wonach beim total Farbenblinden überall statt der Zapfen Stäbchen gebildet sein sollen, muss in dieser allgemeinen Fassung zunächst die Vermuthung erwecken, dass die supponirten fovealen Stäbchen wenigstens das einzige bisher sicher festgestellte physiologische Merkmal der Stäbchen zeigen würden, nämlich die Fähigkeit, im Finstern Sehpurpur anzuhäufen, auf welche ja die ihnen zugeschriebene besonders hohe Adaptationsfähigkeit bezogen wird.

Eine derartige Hypothese ist ausgeschlossen durch den Nachweis, dass bei den von uns untersuchten total Farbenblinden, ganz so wie beim Normalen, entsprechend der Stelle des directen Sehens sich ein Netzhautbezirk fand, der im dunkeladaptirten Auge für schwache Lichtreize relativ weniger erregbar war als die umgebenden Netzhautpartien.

Bei der eben erwähnten Fräulein M. habe ich neuerdings abermals eine grössere Reihe von Beobachtungen angestellt, welche diese foveale Minderempfindlichkeit des dunkeladaptirten Auges schlagend darzuthun gestatteten.

Die oben unter Nr. 3 angeführte Hypothese ist schon widerlegt durch den Nachweis, dass die fragliche foveale Minderempfindlichkeit sich nur im dunkeladaptirten Auge findet, dagegen im helladaptirten fehlt.

Die vierte oben angeführte Hypothese stellt eine besondere Kategorie von percipirenden Elementen auf, durch welche der bisher so scharf betonte Unterschied zwischen Stäbchen und Zapfen hinsichtlich der Purpurbildung ganz verwischt wird. Das einzige bis jetzt bekannte physiologische Merkmal der Stäbchen ist ihre Fähigkeit, nachweisbar Sehpurpur zu bilden, während den Zapfen diese Fähigkeit nicht, wenigstens nicht nachweisbar, zukommt. Nun wird hier eine besondere Art von Elementen angenommen, die man Stäbchen nennt, obschon ihnen jenes einzige physiologische Merk-

mal der Stäbchen mehr oder weniger vollständig fehlen soll; denn sie würden sich hinsichtlich der Purpurbildung ungefähr so, wie die fovealen Zapfen des normalen Auges verhalten. Man fragt vergebens nach einem Grunde für die Aufstellung dieser Kategorie von Elementen. Der Umstand, dass die fraglichen Gebilde nur die Empfindung farbloser Helligkeit vermitteln, kann unmöglich als Grund von Seiten jener Autoren angeführt werden, die schon für das normale Auge (auf der peripheren Netzhaut) das Vorkommen nur farblose Empfindungen vermittelnder Zapfen annehmen. Es ist eine seltsame Hypothese, die annimmt, dass total farbenblinde Zapfen nur im normalen Auge vorkommen, nicht aber im total farbenblinden.

Das Gesagte dürfte zur Charakterisirung der oben unter Nr. 4 angeführten Hypothese genügen. —

Die Anschauungen, zu welchen ich selbst durch die Untersuchung einer Reihe total Farbenblinder geführt wurde, sind bekanntlich mehrfach stark entstellt und verstümmelt wiedergegeben worden; wiederholt hat man mir gerade das Gegentheil von dem, was ich wirklich gesagt habe, in den Mund gelegt. Es erscheint daher nothwendig, meinen Standpunkt nochmals in Kürze klarzulegen.

Die alte, von Max Schultze begründete und wesentlich von Kühne, Haab und Parinaud ausgebildete Lehre, wonach die Stäbchen lediglich farblose, die Zapfen daneben auch farbige Empfindungen vermitteln, wird durch unsere Untersuchungen in keiner Weise berührt. Es steht in directem Widerspruche mit den Thatsachen, wenn behauptet wird, die Hering'sche Schule verhalte sich gegen diese Anschauungen ablehnend. So wurde z. B. schon in der ersten von Hering gemeinsam mit mir veröffentlichten Abhandlung über das Sehen der total Farbenblinden ausdrücklich betont, dass diese nun beinahe 40 Jahre alte Ansicht[1]) wohl mit der Theorie

---

1) Wie verbreitet die Schultze'schen Anschauungen auch in den 70er u. 80er Jahren waren, möge nur an folgenden zwei Citaten gezeigt werden, die ich Herrn Geh.-Rath Hering verdanke. In der 3. Aufl. der Allgem. und mikroskopischen Anatomie von W. Krause (1876) werden die percipirenden Elemente der Netzhaut als „Stäbchen- oder Lichtzellen" und als „Zapfen- oder Farbenzellen" unterschieden. In einer Dissertation von Butz aus Rählmann's Klinik „Ueber die physiologischen Functionen der Peripherie der Netzhaut" (Dorpat 1883) wird es als eine „allgemein verbreitete" Ansicht bezeichnet, dass den Zapfen die Farbenempfindung zu Grunde liege. Es steht

der Gegenfarben in Einklang steht, nicht aber mit der Dreifasertheorie; und in einer anderen Abhandlung habe ich diese Ansichten ausdrücklich wohl discutirbar genannt. Alle meine Ausführungen richteten sich, wie ich stets ausdrücklich betont habe, nur gegen die andere, von jener allgemein bekannten Schultze'schen ganz unabhängige Hypothese, nach welcher der Erregungsvorgang in den Zapfen sich gemäss der Dreifasertheorie abspielen soll, und gegen die Consequenzen, die man für die vorliegenden Fragen aus jener Hypothese gezogen hat.

II.

Die Unzulänglichkeit der eingangs angeführten Hypothesen über das Sehen der total Farbenblinden ist durch das Vorstehende schon genügend dargethan. Da man sie aber auch neuerdings zu vertheidigen versucht hat, so schien es mir erwünscht, die Frage nach dem Sehen — insbesondere dem fovealen — solcher Farbenblinder noch von einer neuen Seite in Angriff zu nehmen.

Bisher war das einzige für unsere Untersuchungen zu verwerthende Merkmal, durch das sich die fovealen Elemente von den extrafovealen unterscheiden, die geringere Adaptationsfähigkeit der ersteren, und es zeigte sich, dass hierin der total Farbenblinde sich nicht anders verhält, als der Normale. Neuerdings haben wir aber zwei weitere charakteristische Eigenschaften der fovealen Elemente im normalen Auge kennen gelernt, die zur Untersuchung an total Farbenblinden gut geeignet schienen. Es handelt sich um die von mir beobachtete Thatsache, dass die nach kurzdauernder Reizung des normalen Sehorgans mit mässig hellem Lichte auftretende zweite helle Phase des Abklingens der Erregung (= Phase 3)[1]) foveal wesentlich später auftritt als extrafoveal, und zwar um so später, je näher die gereizte Stelle der Mitte des stäbchenfreien Gebietes liegt. Sehr schön ist die Erscheinung schon zu sehen, wenn man einen etwa 6—8 mm breiten, passend belichteten mattweissen Cartonstreif über einem dunklen Hintergrunde mässig schnell vor dem ruhig gehaltenen Auge

---

in Widerspruch mit den Thatsachen, wenn behauptet wird, die Lehre M. Schultze's habe gerade bei denjenigen Physiologen, die sich speciell mit der Theorie des Farbensehens beschäftigten, wenig Beachtung gefunden.

1) Vgl. Hess, Untersuchungen über das Abklingen der Erregung nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans. Pflüger's Arch. Bd. 95 S. 1.

vorüberführt. Die fragliche Phase 3 ist dann als ein zum Reizstreif paralleler Nachbildstreif sichtbar, der entsprechend der Stelle des directen Sehens deutlich nach rückwärts ausgebuchtet und etwas schmäler erscheint, als extrafoveal; die Form der Ausbuchtung gibt gewissermaassen graphisch die Reactionsgeschwindigkeiten der einzelnen Punkte des fovealen Gebietes wieder.

Weiter konnte ich nachweisen, dass in dem gut dunkeladaptirten Auge bei passender Herabsetzung der Lichtstärke des (farblosen) Reizlichtes auch die Phase 1 der Erregung bei kurzdauernder Reizung foveal wesentlich später auftritt und kürzer dauert, als extrafoveal[1]). Bewegt man den geraden, weissen, sehr schwach belichteten Streif auf dunklem Grunde an dem dunkeladaptirten Auge vorüber, so erscheint dieser Streif nicht gerade, sondern foveal deutlich — ganz ähnlich, wie ich es für Phase 3 beschrieben habe — nach hinten ausgebuchtet, schmäler und weniger hell als extrafoveal. (Von der dritten Phase ist bei dieser geringen Lichtstärke des Reizlichtes nichts zu sehen.)

Auch der Ungeübte nimmt in der Regel die hier geschilderten Erscheinungen bald in ihrer charakteristischen Form wahr, und es konnte daher mit Aussicht auf Erfolg an die Untersuchung total Farbenblinder nach diesen Methoden geschritten werden, die für die in Rede stehenden Fragen wichtige Ergebnisse versprach. Bisher konnte ich an drei total Farbenblinden ein auch in dieser Hinsicht mit dem Normalen übereinstimmendes Verhalten nachweisen.

Die 52jährige Frau L. ($S = {}^6/_{60} - {}^6/_{36}$ mit $+ 6\ D$; kein merkbarer Nystagmus) sah sofort bei den ersten Versuchen den der Phase 3 entsprechenden hellen Nachbildstreif und gab nach einigen Beobachtungen mit voller Bestimmtheit an, dass derselbe in der Mitte eine Ausbuchtung nach rückwärts zeige, die nach ihrer Schilderung offenbar sich jener in unseren eigenen Augen ähnlich oder gleich verhielt. Die Versuche wurden häufig mit gleichem Erfolge angestellt und von anwesenden Collegen controlirt. (Auf die Ausbuchtung der Phase 1 wurde, da diese mir damals noch nicht bekannt war, hier nicht untersucht.)

Eine zweite Beobachtungsreihe nahm ich an der schon erwähnten 23jährigen Fräulein M vor. Nachdem sie sehr bald bei Be-

1) Genaueres hierüber wie über einige andere hierher gehörige Beobachtungen werde ich demnächst an anderer Stelle mittheilen.

wegung des Papierstreifs den hellen Nachbildstreif wahrgenommen hatte, stellte ich ihr ohne weitere Erläuterung die Aufgabe, zu ermitteln, ob der letztere sich ihr als einfache gerade Linie darstelle oder nicht. Die Dame gab bald an, dass der Nachbildstreif in der Mitte eine deutliche Ausbuchtung nach rückwärts zeige, die bei langsamer Bewegung des Reizstreifs flacher erscheine als bei rascher. Bei zahlreichen Versuchsreihen mit mannigfacher Aenderung der Breite und Lichtstärke der Reizstreifen wie auch der Lichtstärke des Grundes wurden stets Ergebnisse erhalten, welche mit jenen an unseren normalen Augen (bis auf die Färbung) vollkommen übereinstimmten.

Ein Versuch, die Grösse der ausgebuchteten Partie zu schätzen, wurde in der Weise vorgenommen, dass auf dem 4 m entfernten dunklen Grunde zwei weisse Marken in wechselndem gegenseitigem Abstande angebracht und so lange gegen einander verschoben wurden, bis die auf die Mitte zwischen beiden Marken blickende Dame angab, dass die Anfänge der Ausbuchtung ungefähr in der Gegend jener weissen Punkte zu liegen schienen; auch hier ergaben sich gleiche Werthe, wie für das normale Auge; der fragliche Abstand wurde, ebenso wie für mich[1]), etwas grösser gefunden, als dem Durchmesser des stäbchenfreien Bezirks nach den üblichen Maassangaben entspricht. Als ich der Dame dann eine Abbildung des fraglichen Nachbildverlaufes für den Normalen (Fig. 2 meiner vorher angeführten Arbeit) vorlegte, erklärte sie, dass sie die Erscheinung ganz so sehe, wie sie dort wiedergegeben sei.

Mit einem kurzen rechteckigen Papierstreif sah die Dame leicht auch die von mir früher beschriebene langdauernde helle Phase (= Phase 5), die bei öfter wiederholten Versuchen für sie ganz oder nahezu ebenso lange bestehen blieb, wie für mehrere normale Vergleichsaugen. Ferner sah sie bei passend gewähltem Grunde leicht, dass die Phase 4 deutlich d u n k l e r war als der Grund, über dem die Bewegung erfolgte.

Fast noch leichter und einfacher als der Nachweis der fovealen Verzögerung der Phase 3 gelingt meist jener der fovealen Ausbuchtung der P h a s e 1 für das dunkeladaptirte Auge. Sowohl Fräulein M. als auch die früher wiederholt von uns untersuchte, jetzt 36jährige Fräulein F. (die ich kürzlich gemeinsam mit Herrn Collegen T s c h e r m a k daraufhin untersuchen konnte) gab schon

1) Vgl. l. c. S. 468.

nach wenigen Versuchen an, dass der im Dunkelzimmer am Auge vorübergeführte, schwach belichtete weisse Streif nicht geradlinig erscheine, vielmehr in der Mitte deutlich — offenbar ähnlich oder ganz so wie für uns — nach rückwärts ausgebuchtet.

Ferner konnte ich noch eine bisher nicht untersuchte Patientin wenigstens auf das fragliche Verhalten von Phase 1 und 3 prüfen. Die 37jährige Dame, seit Geburt total farbenblind (die v. Hippel-schen Gleichungen gelten angenähert auch für ihre Augen) trägt seit ihrem fünften Jahre Convexgläser von 7 Dioptr. und kann damit leidlich in die Ferne sehen und bequem lesen; eine genauere Refractions- und Astigmatismusbestimmung war, da ich die Dame auswärts, ohne genügende Hülfsmittel, untersuchen musste, nicht möglich; nach einer Bestimmung mit Landolt's Ringproben beträgt die Sehschärfe mit ihren Gläsern $\overline{\overline{>}}$ 6/60. Es besteht mässige Lichtscheu und Nystagmus. Sehnerv normal; auch am übrigen Augenhintergrunde lassen sich krankhafte Veränderungen nicht nachweisen (doch musste ich mich auf eine nicht sehr eingehende Untersuchung ohne künstliche Pupillenerweiterung beschränken). Bei Untersuchung auf Skotom mit der von mir angegebenen Methode (siehe oben) macht die Dame stets richtige Angaben; ein centraler Defect von irgend nennenswerther Ausdehnung ist also ausgeschlossen.

Bei Untersuchung mit bewegtem weissem Streif nimmt sie sowohl bei der Phase 1 wie bei der Phase 3 die foveale Ausbuchtung bald mit Sicherheit wahr.

Nach Abschluss dieser Untersuchungen erhielt ich durch die Güte des Herrn Collegen Tschermak noch über einen vierten Fall Bericht. Es handelt sich um einen (bis dahin noch nicht genauer untersuchten) 20jährigen Studenten, der die bekannten charakteristischen Merkmale der übrigen von Geburt total Farbenblinden zeigt (Genaueres hierüber wird event. an anderer Stelle mitgetheilt). Bei Untersuchung mit bewegtem Streif sieht er die foveale Ausbuchtung der Phase 1 bei dunkeladaptirtem Auge, sowie jene der Phase 3 bei relativ helladaptirtem „ausserordentlich deutlich“. Der Mittheilung war eine von dem Patienten selbst angefertigte Skizze beigefügt, aus der hervorgeht, dass er die Erscheinung offenbar ganz ähnlich oder genau so wie wir sieht. —

---

1) l. c. S. 8 f. und Tafel I Fig. 1.

Man hat bekanntlich die Behauptung aufgestellt, bei dem total Farbenblinden bestehe eine sehr lange Nachdauer der Reize. Ich habe dies schon früher als unrichtig nachgewiesen; auch die hier mitgetheilten neuen Beobachtungen bei Fräulein M. zeigen, dass für sie weder nach kürzer noch nach länger dauernder Reizung, weder bei geringen noch bei hohen Lichtstärken die Nachbilder merklich länger dauern als für den Normalen.

Wir begegnen ferner immer wieder der von mir schon wiederholt als irrig nachgewiesenen Behauptung, dass beim Normalen wie beim total Farbenblinden auf eine kurzdauernde Reizung eine „Doppelerregung im Stäbchenapparate" erfolge. Diese Behauptung ist in dreifacher Beziehung unrichtig: Erstens hat man bei den fraglichen Beobachtungen stets den der Zeit nach weitaus grössten Theil des ganzen Nachbildverlaufes vollständig übersehen (nämlich die von mir als Phase 4, 5 und 6 beschriebenen Phasen); man müsste demgemäss mindestens von drei zeitlich auseinanderfallenden Empfindungseffecten, einer dreifachen Erregung, sprechen, denn es sind nach kurzdauernder Reizung mit mässig hellem Lichte drei helle Phasen des Nachbildverlaufes sichtbar. Zweitens handelt es sich bei dem fraglichen Vorgange nicht um zwei Erregungen, sondern um das phasische Abklingen einer einzigen Erregung, um positive und negative Phasen, d. h. solche, die zum einen Theile (Phase 1, 3, 5) heller, zum anderen Theile (2, 4, 6) dunkler sind als der (passend gewählte) Grund; es ist selbstverständlich nicht angängig, lediglich die hellen Phasen als Empfindungseffect oder Ausdruck der Erregung anzusprechen. Drittens ist es nicht zulässig, den der Phase 3 entsprechenden farblosen Theil des fraglichen Vorganges als Stäbchenerregung aufzufassen; denn ich habe gezeigt, dass er in wesentlich ähnlicher Weise (nur etwas anderem Tempo) auch auf dem stäbchenfreien fovealen Gebiete sich abspielt.

Die hier kurz mitgetheilten neuen Beobachtungen haben die Thatsache ergeben, dass der foveale Bezirk des total Farbenblinden sich nicht nur hinsichtlich der geringeren Lichtempfindlichkeit des dunkeladaptirten Auges, sondern auch hinsichtlich des charakteristischen verspäteten Auftretens der ersten und der

dritten Phase des Erregungsablaufes nach kurzdauernder Reizung ganz so verhält, wie jener im normalen Auge. Auch hier nehmen die Reactionsgeschwindigkeiten der einzelnen Punkte des fovealen Gebietes von der Mitte nach der Peripherie hin ganz allmählich zu, offenbar in ähnlicher oder gleicher Weise, wie beim Normalen.

(Aus dem physiologischen Institut der thierärztlichen Hochschule in Budapest.)

Beiträge zur Energetik der Ontogenese.

Zweite Mittheilung.

Ueber den Verbrauch an chemischer Energie während der Entwicklung von Bakterienculturen.

Von

F. Tangl.

I.

Schon in meiner ersten Mittheilung[1]) erwähnte ich, dass ich die Entwicklungsarbeit, d. h. die Menge der während der Entwicklung eines Organismus umgewandelten chemischen Energie, bei verschieden organisirten Wesen zu bestimmen suchte. Es soll auf diese Weise Aufschluss darüber erhalten werden, ob die Entwicklungsarbeit eine Function der Organisation, der Entwicklungsstufe des Organismus ist, d. h. ob zur Entwicklung eines höher entwickelten Organismus mehr Arbeit erforderlich ist als bei nieder organisirten Wesen, oder ob für die Grösse der Entwicklungsarbeit andere, vielleicht nur physikalische und chemische Factoren bestimmend sind. Diese Ueberlegung veranlasste mich, die Untersuchungen nicht nur auf hochstehende thierische Organismen verschiedener Classen, sondern auch auf Pflanzen auszudehnen, unter welchen man in den Schizomyceten die einfachsten Organismen findet.

Ich habe schon vor Jahren, zur Zeit, als ich die Versuche an Hühnereiern machte, auch an Bakterien, als den einfachsten Lebewesen, einige Versuchsreihen ausgeführt, um die Menge der chemischen Energie zu bestimmen, welche während ihrer Entwicklung in Reinculturen in andere Energiearten umgewandelt wird, die also die Entwicklungsarbeit in Bakterienculturen darstellt. Aeusserer Verhältnisse wegen konnte ich diese Untersuchungen seither nicht zu dem erwünschten Abschlusse bringen; eine ganze Reihe von

1) Dieses Archiv Bd. 93 S. 327.

Fragen tauchte auf, die noch in besonderen Versuchen beantwortet werden müssen, um wenigstens halbwegs jene physikalischen und chemischen Factoren kennen zu lernen, von welchen die Entwicklungsarbeit genannte Grösse abhängig ist. Weil ich nun auch in nächster Zeit kaum in der Lage sein werde, die Versuche in der nöthigen Ausdehnung fortzusetzen, möchte ich im Folgenden vorläufig über die in meinen ersten Versuchen erhaltenen, gewissermaassen nur orientirenden Resultate ganz kurz berichten, da auch diese immerhin schon einiges Interesse beanspruchen dürften.

Der Zweck der Versuche, von welchen die Rede sein soll, war, wie gesagt, nach demselben Principe wie bei den Hühnereiern, die Menge jener chemischen Energie zu bestimmen, die während der Entwicklung der Bakterien in ihren Culturen umgewandelt wird. Dazu wählte ich jene Culturform, die die genaueste und bequemste Bestimmung der vor und nach der Entwicklung der Cultur im Nährboden vorhandenen chemischen Energie zuliess: die Bouilloncultur.

In einer Probe der in der üblichen Weise bereiteten keimfreien Nährbouillon, in der man die Bakterien züchten will, bestimmt man mit der Berthelot'schen calorimetrischen Bombe den Gehalt an chemischer Energie. Nachdem die Bakterien sich eine bestimmte Zeit hindurch entwickelt haben, wird wieder in einer Probe der gut durchschüttelten Flüssigkeit in derselben Weise die chemische Energie bestimmt. Die Differenz der zwei Bestimmungen gibt die Menge der verschwundenen, richtiger umgewandelten chemischen Energie, denn die Bedingungen, unter welchen diese Annahme, nach den Erörterungen in meiner citirten Mittheilung S. 332—334 gilt, sind auch bei den Bakterienculturen erfüllt. Die Bakterienculturen bilden bezüglich der chemischen Energie, ebenso wie die Vogeleier, ein abgeschlossenes System, in welchem, wenigstens nach unseren heutigen Kenntnissen, aus anderen Energiearten keine chemische Energie erzeugt wird. Andererseits wird chemische Energie als solche aus der Cultur nicht entfernt, oder, wenn etwa gasförmige, energiehaltige Stoffwechselproducte entweichen, so kann man diese quantitativ bestimmen und ihren Energiegehalt in Rechnung bringen. Wählt man Bakterienarten, in deren Culturen solche gasförmige Producte nicht erzeugt werden, so entspricht die Abnahme der chemischen Energie ohne Weiteres dem Verbrauch derselben resp. jenem Antheil, der in andere Energiearten, wohl hauptsächlich in Wärme, umgesetzt wurde. Einen grossen Vortheil haben diese Bakterienversuche gegenüber den Versuchen an

Hühnereiern: dass nämlich der Energieverbrauch viel genauer ermittelt werden kann. Während bei letzteren der Energiegehalt des Eies vor der Bebrütung nach dem Mittelwerthe des Energiegehaltes unbebrüteter Eier nur berechnet werden kann, wird bei den Bakterienculturen der Energiegehalt der keimfreien Bouillon immer direct bestimmt; der erhaltene Werth ist also ceteris paribus mit weniger Fehlern behaftet.

Ueber die angewandte Versuchsanordnung und Untersuchungsmethode kann ich mich ganz kurz fassen. Die Nährbouillon wurde in der in der Bakteriologie gewohnten Weise aus Rindfleisch mit 1 % resp. 1,5 % Peptonzusatz bereitet, mit der geringen Modification, dass nur 0,1 % NaCl zugesetzt wurde. Nach dem Neutralisiren (Indicator Lackmus) und Filtriren wurden von der klaren Flüssigkeit 300—400 ccm in Erlenmeyer'sche Kölbchen abgegossen und in diesen in einem Autoclaven vorschriftsmässig sterilisirt. Nachdem die Sterilität der Bouillon durch Stehenlassen im Brutschrank erwiesen war, wurden die Kölbchen mit Reinculturen geimpft. Dazu wählte ich folgende drei Bacillen: Bac. anthracis, Bac. suipestifer und Bac. subtilis, also zwei pathogene und einen nicht-pathogenen. Diese Bakterien wählte ich desshalb, weil, soweit bekannt, in ihren Culturen keine gasförmigen energiehaltigen Stoffwechselproducte (z. B. H oder CH_4) erzeugt werden, die Untersuchung also nach dem oben Gesagten sehr einfach ist. Ein bis drei Bouillonkölbchen wurden mit je einem dieser Bakterien geimpft und dann in den Brutschrank gestellt. Da während des Aufenthaltes im Brutschrank (37°—38° C.) etwas Wasser verdunstet, wurden sowohl die Culturen als auch die sterile Bouillon, die in ähnlichen Kölbchen immer ebenso lange im Brutschrank gehalten wurde, mit destillirtem Wasser auf das ursprüngliche Volum aufgegossen.

Die Culturen und die sterile Bouillon wurden dann auf ganz gleiche Weise verarbeitet.

10 ccm wurden in gewogenen Kellner'schen Celluloseblöckchen im Vacuum bei 65° eingedampft und dann in der Berthelot-Mahler'schen calorimetrischen Bombe verbrannt. Ich habe auch bei diesen Untersuchungen meine schon beim Harne gemachte Erfahrung bestätigt gefunden, dass man bei genauem Arbeiten mit diesen Celluloseblöckchen, selbst wenn ihre Verbrennungswärme einen grossen Theil der gesammten (gefundenen) ausmacht, sehr gute Resultate erhalten kann, wie das die stets doppelt oder auch

dreifach ausgeführten Bestimmungen bewiesen. (Ich erhielt auch dann nicht besser übereinstimmende Werthe, als ich statt 10 ccm in einigen Fällen 40 ccm in einem Blöckchen eindampfte. Sie stimmten ebenfalls bis auf etwa 0,5 %.)

Mit Ausnahme der ersten Versuchsreihe wurde auch der Trockensubstanzgehalt bestimmt. 5 ccm wurden auf dem Wasserbade eingedampft und dann bei 105 ° C. bis zum constanten Gewicht getrocknet (Doppelbestimmungen).

II.

Im Ganzen habe ich in der angegebenen Weise mit den drei Bakterienarten vier gelungene Versuchsreihen ausgeführt.

Versuchsreihe I diente hauptsächlich dazu, darüber zu orientiren, wie gross überhaupt der Energieverbrauch[1]) in den Culturen ist, und ob er in noch nicht vollständig entwickelten Culturen bereits so gross ist, dass sein Werth genügend sicher ermittelt werden kann. Mit jeder Bakterienart wurde eine grössere Anzahl Kölbchen geimpft, diese dann in drei Gruppen getheilt. Eine Gruppe wurde nach 7, die zweite nach 14 und die dritte nach 27 Tagen untersucht. Letztere Culturen können schon als solche betrachtet werden, in welchen eine weitere Entwicklung von neuen Bakterienzellen kaum mehr stattfindet. Die Resultate dieser Versuchsreihe sind in folgender Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I.

Versuchsreihe I. Beginn am 10. Mai 1900.

Nummer des Versuches	Art der Cultur	Alter der Culturen in Tagen	Energiegehalt von 100 ccm Bouillon		Energieverlust pro 100 ccm Bouillon	
			vor der Entwicklung d. Bakterien Cal.[2])	nach d. Entwicklung d. Bakterien Cal.	Cal.	in % des ursprüngl. Energiegehaltes
1	Bac. anthracis	7	14,69	13,79	0,90	6,1
2	Bac. suipestifer	7	14,69	13,36	1,33	9,1
3	Bac. subtilis	7	14,69	12,31	2,38	16,2
1 a	Bac. anthracis	14	14,69	13,44	1,25	8,5
2 a	Bac. suipestifer	14	14,69	13,19	1,50	10,2
3 a	Bac. subtilis	14	14,69	11,76	2,93	19,9
1 b	Bac. anthracis	27	14,69	10,32	4,37	29,8
2 b	Bac. suipestifer	27	14,69	10,89	3,80	25,9
3 b	Bac. subtilis	27	14,69	11,21	3,48	23,7

1) Unter Energieverbrauch, Energiegehalt u. s. w. ist im Folgenden, wenn nicht anders bemerkt, immer Verbrauch u. s. w. an chemischer Energie verstanden.

2) Cal. = Kilogrammcalorien.

Aus dieser Versuchsreihe ist ersichtlich, dass bereits nach einer Woche der Energieverbrauch so bedeutend ist, dass er sicher gemessen werden kann, besonders in der Subtiliscultur, die von allen dreien am üppigsten entwickelt war. Mit dem Alter der Culturen schreitet auch der Energieverbrauch fort, so dass nach ca. vier Wochen etwa 1/4 Theil der ursprünglichen Energiemenge verbraucht ist.

Weiterhin ist ersichtlich, dass trotz ganz gleicher Versuchsbedingungen — dieselbe Nährflüssigkeit, Entnahme des Impfkeimes aus möglichst gleichalterigen, kräftigen Culturen, möglichst gleich grosse (eine Platinöse) Impfmenge, gleiche Temperatur — der Energieverbrauch der drei Bakterienarten ein sehr verschiedener ist. Am raschesten schritt der Energieverbrauch in den Culturen des Heubacillus fort, wenn er auch beim Milzbrandbacillus einen höheren Werth erreichte. Abgesehen davon, dass die Zahl der eingeimpften Bakterien natürlich nicht die gleiche sein kann, dass in der eingeimpften Menge auch bei gleicher Zahl der Bakterien durchaus nicht gleich viel keimfähige Individuen enthalten sind, hat der beobachtete Unterschied wohl hauptsächlich in der verschiedenen Wachsthums- resp. Vermehrungsgeschwindigkeit der einzelnen Bakterienspecies seinen Grund. Das üppigste Wachsthum zeigten die Subtilisculturen, wenigstens nach dem makroskopischen Aussehen. Sicher hängt der Energieverbrauch auch von anderen Factoren ab; wahrscheinlich hat z. B. die Beweglichkeit der Bakterien einen nicht zu unterschätzenden Einfluss. (Der Bac. subtilis besitzt in Bouillonculturen eine sehr grosse Beweglichkeit.) Diese Frage erfordert noch zahlreiche Untersuchungen, die sich auf alle jene Factoren erstrecken müssen, welche auf die Entwicklung der Bakterienculturen irgend einen Einfluss ausüben.

Ausser dieser Versuchsreihe verfüge ich noch über drei gelungene, in welchen aber nur vollentwickelte Culturen der drei Bakterienarten untersucht wurden. Bei diesen habe ich ausser dem Energieverbrauch auch die Abnahme der Trockensubstanz bestimmt. Die Resultate zeigt die Tabelle II (S. 480).

Die Culturen sind, mit Ausnahme der Versuchsreihe II, in welcher sie fast fünf Wochen gezüchtet wurden, drei Wochen alt. Auch aus diesen Versuchsreihen geht hervor, dass der Energieverbrauch und auch der Stoffverbrauch in gleich alten Culturen der drei Bakterienarten sehr verschieden ist, dass aber auch annähernd gleich alte

Tabelle II.

Nummer des Versuches	Art der Cultur	Alter der Cultur in Tagen	Vor der Entwicklung der Bakterien		Nach der Entwicklung der Bakterien		Trockensubstanzverlust		Energieverlust	
			Trocken-substanz g	Energie Cal.	Trocken-substanz g	Energie Cal.	g	%	Cal.	%
			in 100 ccm Bouillon							
			Versuchsreihe II. Beginn am 18. October 1900.							
1	Bac. anthracis	34	3,900	15,00	2,946	10,12	0,945	24,5	4,88	32,5
2	Bac. suipestifer	34	3,900	15,00	3,344	12,87	0,556	14,3	2,13	14,2
3	Bac. subtilis	34	3,900	15,00	2,926	10,13	0,974	25,0	4,87	32,4
			Versuchsreihe III. Beginn am 26. November 1900.							
1	Bac. anthracis	20	3,170	13,90	2,993	12,75	0,177	5,6	1,15	8,3
2	Bac. suipestifer	20	3,170	13,90	2,557	10,88	0,613	24,0	3,03	21,8
3	Bac. subtilis	20	3,170	13,90	2,553	11,13	0,637	25,1	2,77	19,9
			Versuchsreihe IV. Beginn am 10. Februar 1901.							
1	Bac. anthracis	18	2,828	12,21	2,792	11,94	0,036	1,3	0,28	2,3
2	Bac. subtilis	18	2,828	12,21	2,420	10,19	0,408	14,4	2,02	16,5
	- -[1])									

[1]) Der Versuch mit Bac. suipestifer ging verloren.

und unter ganz gleichen Bedingungen gezüchtete Culturen desselben Bacillus ziemlich bedeutende Unterschiede zeigen. Dies geht besonders deutlich aus den Versuchsreihen III und IV hervor, in welchen übrigens die Culturen auch ein ganz verschiedenes Aussehen boten: in letzterer waren sie bedeutend schwächer entwickelt als in ersterer.

Die ältesten Culturen (34 tägige) waren in der Versuchsreihe II, die auch — mit Ausnahme der Schweinepestbacillen — den bedeutendsten Stoff- und Energieverbrauch aufweist. Dies muss desshalb bemerkt werden, da es fraglich ist, ob in den Culturen der fraglichen Bakterien so lange neue Zellen gebildet werden, also Entwicklungsarbeit geleistet wird. Makroskopisch ist nach drei bis vier Wochen eine weitere Entwicklung dieser Culturen kaum mehr zu bemerken. Es wäre immerhin möglich, dass der weitere Stoff- und Energieverbrauch nur zur Erhaltung der bereits vorhandenen Zellen dient, oder dass er, wenigstens theilweise, durch chemische Vorgänge bedingt ist, die ausserhalb der lebenden Zellen ablaufen. Auch diese für die Beurtheilung der Befunde sehr wichtigen Fragen müssen durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

So unvollständig diese Versuchsreihen auch sind, beweisen sie doch jedenfalls, dass während der Entwicklung der Bakterienculturen eine erhebliche Menge chemischer Energie umgewandelt, also eine nicht unbedeutende Entwicklungsarbeit geleistet wird. Natürlich genügen diese Versuche noch weniger wie die an Vogeleiern, um auf eine Analyse dieser Entwicklungsarbeit einzugehen, also um anzugeben, welche Energieumwandlungen in den Bakterienculturen stattgefunden haben, wie ich denn auch wohl weiss und auch am Schlusse meiner ersten Mittheilung hervorhob, dass durch Untersuchungen wie die vorliegenden überhaupt kein tieferer Einblick in die eigentliche Energetik der Entwicklung gewonnen werden kann[1]). Vielleicht bieten aber gerade die einfacheren Verhältnisse der Bakterienculturen ein entsprechendes Material, um darüber Aufschluss zu erhalten,

---

1) „So wenig wie die alleinige Kenntniss der Ausgangs- und Endproducte des Stoffwechsels vermag die alleinige Controle der Einfuhr und der Ausgabe der Gesammtenergie oder einzelner Energiegrössen von der Art und Weise der Mannigfaltigkeit der Umsetzungen im Getriebe des Organismus Kenntniss zu geben," sagt Pfeffer. (Studien zur Energetik der Pflanze S. 51. S. Hirzel, Leipzig 1892.)

was aus der verschwundenen chemischen Energie geworden ist. Diesbezüglich möchte ich jetzt nur zwei sehr beachtenswerthe und für weitere Untersuchungen wichtige Angaben anführen.

Vor Allem die von Rubner[1]), wenn dieselben auch vor der Hand ganz kurze sind. Mit Hülfe eines gläsernen Calorimeters, ähnlich den Dewar'schen Flaschen, hat er die durch Bakterien im Menschenkoth erzeugte Wärme Wochen hindurch gemessen. „Menschenkoth von gemischter Kost lieferte für 144 g rund 0,4 Cal., 148 g 0,48 Cal., 100 g Kuhmilchkoth 0,34 Cal. an Zersetzungswärme im Tage." Mit Hülfe eines solchen Calorimeters könnte man bei der Genauigkeit, die Rubner seinem Apparate nachrühmt, leicht entscheiden, ob die ganze oder nur ein Theil der verschwundenen chemischen Energie in Wärme umgewandelt wurde. Es geht aber schon aus den wenigen Angaben Rubner's hervor, dass in Bakterienculturen ein bedeutender Theil der verschwundenen chemischen Energie als Wärme entweicht.

Die zweite Angabe, auf die ich mich hier berufen will, stammt von G. N. Stewart[2]). Er wies nach, dass in Flüssigkeiten, in welchen Bakterien wachsen, die molekulare Concentration, also der osmotische Druck sehr bedeutend ansteigt, d. h.: während der Entwicklung der Bakterien nimmt die osmotische Energie zu. Diese Zunahme geschieht ausschliesslich unmittelbar oder mittelbar auf Kosten der im Laufe des Stoffwechsels verschwundenen chemischen Energie.

III.

Da ich, mit Ausnahme der Versuchsreihe I, auch den Trockensubstanzverbrauch in den Culturen bestimmte, konnte ich die Beziehung zwischen Stoff- und Energieverbrauch in ähnlicher Weise wie bei den Hühnereiern berechnen, um daraus, soweit es ohne nähere Kenntniss der einzelnen Phasen des Stoffwechsels überhaupt möglich ist, auf die Qualität der verbrauchten Trockensubstanz zu folgern.

---

1) Rubner, Die Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung S. 49. Deuticke, Leipzig u. Wien 1902.

2) G. N. Stewart, The changes produced by the growth of bacteria in the molecular concentration and electrical conductivity of culture media. The journ. of exper. medicine vol. 4. p. 235. 1899.

Berechnet man für die einzelnen Versuchsreihen, wieviel von der verbrauchten Energie auf 1 g verschwundener Trockensubstanz fällt, also den specifischen Energiegehalt der letzteren, so erhält man folgende Zahlen:

	Bac. anthracis	Bac. suipestifer	Bac. subtilis
Versuch II	5,1 Cal.	3,8 Cal.	5,0 Cal.
Versuch III	6,5 „	4,9 „	4,3 „
Versuch IV	7,7 „	— „	5,0 „
Mittel	6,4 Cal.	4,4 Cal.	4,8 Cal.

Da in meinen Versuchen die Stoffwechselvorgänge nicht untersucht wurden, kann die Discussion dieser Zahlen nur ganz kurz sein. Es sei bloss hervorgehoben, dass sie bedeutend kleiner sind als die entsprechenden beim bebrüteten Hühnerei, wo alle über 9 Cal. waren. Es werden also in den Bouillonculturen Substanzen geringeren Energiegehaltes verbraucht wie im bebrüteten Hühnerei, wo hauptsächlich Fett verbrannt wird, welches in den Bouillonculturen fehlt. In letzteren dürften Nhaltige Substanzen wohl fast ausschliesslich oder wenigstens hauptsächlich die Energie geliefert haben.

Interessant ist ferner, dass die drei verschiedenen Bakterien das Betriebsmaterial, welches ihnen in ganz gleicher Qualität und Quantität zur Verfügung stand, in verschiedener Weise verwendeten. Nur so kann es erklärt werden, dass in den Milzbrandculturen der specifische Energiegehalt der zu flüchtigen Endproducten zersetzten Substanz viel grösser ist (im Mittel 6,4 Cal.) als in den anderen Culturen. Die kleinsten Werthe (Mittel 4,4 Cal.) finden sich bei den Schweinepestculturen.

Aus diesen Unterschieden kann man mit Recht auf Unterschiede des Stoffwechsels der drei Bakterienspecies folgern. Weitere Untersuchungen werden ergeben, wie weit diese Unterschiede für die einzelnen Bakterienarten charakteristisch sind, von welchen Factoren sie abhängen, und ob sie nicht auch eventuell zur Charakteristik einer Bakterienart verwendet werden können. Selbstverständlich müssen auch die Stoffwechselvorgänge selbst genauer untersucht werden, was sogar zur genaueren Feststellung des Verbrauches an chemischer Energie nicht entbehrt werden kann. Es muss nämlich, wie ich schon im I. Capitel erwähnte, genau festgestellt werden, ob aus den Culturen energiehaltige gasförmige Stoffwechselproducte entweichen oder nicht. Wenn ich auch nach den mir bekannten Angaben annehmen konnte, dass aus den Culturen

der untersuchten drei Bakterienarten weder H noch CH_4 noch andere flüchtige organische Substanzen entweichen, scheint doch in einigen Fällen aus den Culturen N in irgend einer Form zu entweichen; wenigstens habe ich in einigen Versuchen am Schlusse weniger N gefunden wie im Anfange, wie dies aus den folgenden Zahlen hervorgeht (Doppelbestimmungen nach Kjeldahl in je 5 ccm):

Nr. der Versuchsreihe	Art der Cultur	N in 100 ccm			
		vor der Entwicklung der Cultur g	nach der Entwicklung der Cultur g	Verlust g	Verlust %
III	Bac. anthracis	0,422	0,422	0	0
	Bac. suipestifer		0,411	0,011	2,6
	Bac. subtilis		0,411	0,011	2,6
IV	Bac. anthracis	0,369	0,369	0	0
	Bac. subtilis		0,359	0,010	2,7

Der N-Verlust, der manchmal beobachtet wird, ist wohl nicht gross; die Möglichkeit liegt aber vor, dass er eventuell auch grösser gefunden wird. Jedenfalls muss man bei den weiteren Untersuchungen daran denken. In welcher Form (NH_3 oder andere flüchtige Verbindungen oder elementarer N) der N entweicht, und in welchen Fällen ein N-Verlust eintritt, muss erst ermittelt werden. Geht der N in anderer als elementarer Form verloren, so muss der Energiegehalt dieser N-Verbindungen natürlich vom Energieverbrauch in Abzug gebracht werden. Diese Correctur müsste dann auch an meinen mitgetheilten Werthen angebracht werden, die aber dadurch, bei dem geringen Werthe des N-Verlustes, kaum verändert werden dürften.

IV.

Der Energieverbrauch in 100 ccm Bouilloncultur ist eine für das betreffende Bakterium willkürlich gewählte und nicht genau definirte, variable Grösse. Sie kann natürlich als solche nicht mit der Entwicklungsarbeit im Hühnerei unmittelbar verglichen werden. Zu diesem Zwecke müssen beide auf dieselbe Einheit bezogen und diese für die Bakteriencultur genau definirt werden. Man könnte z. B. ebenso wie für ein Hühnchen den Energieverbrauch für die Entwicklung je einer Bakterienzelle, die auch einen selbstständigen Organismus darstellt, berechnen. Dabei müsste man die Bakterien in der Cultur zählen. Abgesehen von den technischen Schwierigkeiten einer verlässlichen Zählung, die vielleicht noch überwunden

werden könnten, würde diese Zählung schon desshalb unsichere Werthe ergeben, weil man, besonders bei vollentwickelten Culturen — wenigstens nach den bisher üblichen Zählungsmethoden — die bereits abgestorbenen und zerfallenen Bakterien gar nicht mitgezählt erhalten würde. Man müsste also ganz junge Culturen wählen, solche, welche einerseits schon einen zur Messung genügend grossen Energieverbrauch aufweisen, andererseits noch wenig abgestorbene Bakterien enthalten. Natürlich würden auch da noch alle Ungenauigkeiten der Bakterienzählung die Werthe sehr bedeutend beeinflussen. Um dann die so erhaltene „absolute Entwicklungsarbeit“ eines Bakteriums mit der des Hühnerembryos vergleichen zu können, müsste man sie auf 1 g Bakterium („relative Entwicklungsarbeit“) oder auf 1 g Bakterientrockensubstanz („specifische Entwicklungsarbeit“) berechnen, also ausserdem noch Gewicht resp. Trockensubstanzgehalt der gebildeten Bakterien ermitteln.

Die letzteren zwei Energiegrössen kann man aber natürlich auch ohne Zählung der Bakterien bestimmen, und eben desshalb sind sie auch genauer als die für die „absolute Entwicklungsarbeit“ der Bakterienzellen erhältlichen Werthe. Ich versuchte in einigen Versuchsreihen, vor der Hand die „specifische Entwicklungsarbeit“ der Bakterien zu bestimmen, also die Menge jener chemischen Energie zu ermitteln, welche während der Entwicklung von 1 g Bakterientrockensubstanz in andere Energiearten umgewandelt wird. Ich wendete dazu dieselbe Methode an, die, wenn ich nicht irre, zuerst Nencki benutzte, um zur Analyse der Leibessubstanz grössere Mengen von Bakterienleibern zu erhalten[1]), nämlich die Trennung der Bakterien von der Culturflüssigkeit durch ein Thon- oder Kieselgurfilter.

Hat man für ein bestimmtes Volum der Bouilloncultur den Trockensubstanz- und Energiegehalt bestimmt, filtrirt die Bakterien ab, bestimmt dann im keimfreien Filtrat abermals Trockensubstanz- und Energiegehalt, so entspricht die Differenz beider Bestimmungen dem auf dem Filter gebliebenen, also in den Bakterienleibern enthaltenen. Ist der Trockensubstanz- und Energiegehalt der ursprünglichen, zur Cultur angesetzten Nährbouillon auch bestimmt, so erfährt man aus diesen dreierlei Bestimmungen erstens den Stoff- und

1) Nencki, Ueber das Eiweiss der Milzbrandbacillen. Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1884 S. 2605.

Energieverbrauch während der Entwicklung der Cultur und zweitens, wieviel Bakterientrockensubstanz gebildet wurde, und wieviel chemische Energie diese enthält. Dividirt man dann in die verbrauchte Energie mit der gleichzeitig gebildeten Bakterientrockensubstanz, so erhält man die Energiemenge, die während der Entwicklung von 1 g der letzteren Substanz verbraucht wurde, d. h. die specifische Entwicklungsarbeit.

Es muss ohne Weiteres zugegeben werden, dass diese Methode bedeutende Fehler hat. Vor Allem ist nicht immer Alles, was auf dem Filter zurückbleibt, Bakterienleib. Alle Niederschläge, die in der Flüssigkeit entstehen, bleiben ja auch zurück; nur wenn die Menge dieser Niederschläge so gering ist, dass sie neben der der Bakterien vernachlässigt werden kann, verursachen sie keinen nennenswerthen Fehler. Bei der mikroskopischen Untersuchung meiner Culturen sah ich neben den unversehrten Bakterienzellen nur wenig Körnchen, die möglicher Weise ein Niederschlag waren; die meisten sahen wie der Detritus von abgestorbenen und zerstörten Bakterien aus. Letztere müssen aber wohl als Bakteriensubstanz gerechnet werden. — Einen weiteren Fehler kann die Adsorption gelöster Substanzen im Filter bedingen. Einen Fehler entgegengesetzten Vorzeichens kann wieder der Umstand verursachen, dass wahrscheinlich nicht alle — lebende und abgestorbene — Bakteriensubstanz, die vom Beginn der Cultur gebildet wurde, auf dem Filter bleibt, da ein Theil der abgestorbenen Bakterienleiber möglicher Weise durch die verschiedenen Stoffwechselproducte oder auch durch Enzyme aufgelöst wird. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Fehler um so grösser sein wird, je älter die Cultur ist, da dann die Zahl der abgestorbenen Bakterien grösser ist.

Es fragt sich nun, wie gross die Summe aller dieser Fehler ist und ob es überhaupt möglich ist, sich darüber zu orientiren. Ich muss da zunächst bemerken, dass nach Nencki schon Viele mit derselben Methodik die Leibessubstanz der Bakterien darstellten und dann analysirten. Dann glaube ich — bis auf Weiteres — in dem mit Hülfe der auf diese Weise erhaltenen Werthe berechneten specifischen Energiegehalte der Bakterientrockensubstanz (= Verbrennungswärme von 1 g dieser Trockensubstanz) eine ganz brauchbare Controle dafür zu haben, ob die die Basis der Berechnung bildenden Werthe mit groben Fehlern behaftet sind. So viel weiss man nämlich schon aus Nencki's und Anderer Untersuchungen

über die Zusammensetzung der Bakterienzellen, dass man daraus den Energiegehalt ihrer Trockensubstanz annähernd berechnen kann. Man kann also wenigstens so viel sagen, ob der gefundene specifische Energiegehalt der Bakterientrockensubstanz innerhalb der möglichen Grenzen liegt, denn gröbere Fehler führen zu unmöglichen Werthen. Den durch die theilweise oder ganze Auflösung abgestorbener Bakterien bedingten Fehler kann man daraus natürlich nicht erkennen; dazu müsste man an möglichst jungen Culturen Erfahrungen sammeln.

Nach der angegebenen Methode habe ich die Culturen der Versuchsreihe III untersucht. Ich habe von jeder Cultur etwa 100 ccm durch Kitasato'sche Thonfilter filtrirt und im keimfreien Filtrate Trockensubstanz und Energiegehalt bestimmt.

Die Resultate sind in der folgenden kleinen Tabelle zusammengestellt, in welche ich auch die entsprechenden Werthe aus Tabelle II aufgenommen habe:

Versuchsreihe III.

In 100 ccm	Bac. anthracis		Bac. suipestifer		Bac. subtilis	
	Trockensubstanz g	Enerie Cal.	Trockensubstanz g	Energie Cal.	Trockensubstanz g	Energie Cal.
Bouillon	3,17	13,90	3,17	13,90	3,17	13,90
Gesammtcultur . . .	2,99	12,75	2,56	10,88	2,53	11,13
Filtrat	2,73	11,65	2,30	9,58	2,18	9,51
also in den Bakterien	0,26	1,10	0,25	1,30	0,35	1,62
verbraucht	0,18	1,15	0,61	3,02	0,64	2,77

Berechnet man nun aus diesen Zahlen den specifischen Energiegehalt der Bakterientrockensubstanz und die specifische Entwicklungsarbeit, so erhält man folgende Werthe:

	1 g Bakterientrockensubstanz enthält: Cal.	Während der Entwicklung[1]) von 1 g Bakterientrockensubst. wurden verbraucht: Cal.
in der Cultur d. Bac. anthracis	4,25	4,4
„ „ „ „ Bac. suipestifer	4,04	11,9
„ „ „ „ Bac. subtilis	4,65	7,9

1) Die specifische Entwicklungsarbeit im bebrüteten Hühnerei beträgt durchschnittlich 3,4 Cal.

Nach den Analysen Nencki's berechnen sich für den specifischen Energiegehalt der Bakterientrockensubstanz etwa 5 Cal.; die obigen Werthe dürften also dem wirklichen thatsächlich nahe stehen; man kann dem entsprechend annehmen, dass diese Werthe mit keinem groben Fehler behaftet sind. Dagegen habe ich in der Versuchsreihe IV, die in derselben Weise untersucht wurde wie die Versuchsreihe III, folgende Werthe erhalten:

	Bac. anthracis		Bac. subtilis	
	Trockensubstanz g	Energie Cal.	Trockensubstanz g	Energie Cal.
Bouillon (100 ccm)	2,83	12,21	2,83	12,21
Gesammtcultur (100 ccm)	2,79	11,94	2,42	10,19
im Filtrat (100 ccm)	2,74	11,69	2,36	9,31
also in den Bakterien (100 ccm)	0,05	0,25	0,06	0,88
verbraucht	0,04	0,27	0,41	2,02
1 g Bakter.-Trockensubst. enthält	—	4,9	—	14,7
Specif. Entwicklungsarbeit	—	5,6	—	33,7

Während also für die Trockensubstanz des Anthraxbacillus mit Versuch III übereinstimmend 4,9 Cal. erhalten wurden, berechnet sich für den Subtilis der unmögliche Werth von 14,7 Cal. Es wird, wie gesagt, die Aufgabe weiterer Untersuchungen sein, zu ermitteln, unter welchen Bedingungen man richtige Werthe erlangen kann.

Es ist ganz selbstverständlich, dass, sobald dieser Werth falsch ist, auch der Werth für die specifische Entwicklungsarbeit nicht richtig sein kann. Die in Versuch IV für den Subtilis berechneten 33,7 Cal. sind also sicher unrichtig, während diese Versuchsreihe für den Anthraxbacillus den mit Versuch III gut übereinstimmenden Werth 5,6 Cal. ergab. Daraus aber, dass für den specifischen Energiegehalt der Bakterientrockensubstanz annehmbare Werthe gefunden wurden, folgt natürlich noch nicht, dass die Werthe für die specifische Entwicklungsarbeit thatsächlich auch richtig sind, denn das hängt auch noch von anderen Factoren ab. In erster Reihe davon, wie weit Absterben und Zerfall älterer Zellen die Stoffwechselvorgänge in der Cultur beherrschten. Diese können nicht nur etwa durch Energieverbrauch, sondern auch dadurch die Entwicklungsarbeit fälschlich vergrössern, dass sich aus den Bakterienleibern, wie schon

erwähnt, lösliche Producte bilden, die durch das Filter gehen. Solange alle diese Factoren nicht genügend bekannt sind, muss man auf eine Erörterung der Befunde verzichten. Ebendesshalb ist auch vor der Hand nicht zu entscheiden, ob die Unterschiede, welche für die Entwicklungsarbeit der drei Bakterien gefunden wurden, für die betreffenden Bakterien charakteristisch und constant sind. Aus demselben Grunde möchte ich mich auch in dieser vorläufigen Mittheilung auf das Anführen der erhaltenen Werthe beschränken und die eingehendere Besprechung auf die Zeit verlegen, wo mein Datenmaterial durch weitere Untersuchungen in entsprechender Weise ergänzt und vervollständigt sein wird.

(Aus dem physiologischen Institut der thierärztlichen Hochschule in Budapest. Vorstand: Prof. Dr. F. Tangl.)

Beiträge zur Energetik der Ontogenese.

Dritte Mittheilung.

Ueber den Energieumsatz des Seidenspinners während der Entwicklung im Ei und während der Metamorphose.

Von

Dr. K. Farkas, II. Assistent am Institute.

(Mit 4 Textfiguren.)

Inhalt.

I. Ziel und Aufgabe der Untersuchungen.

Die Menge der energischen Energie, welche während der Entwicklung des Embryo im Vogelei verbraucht wird, hat zuerst Prof. F. Tangl bestimmt. Die Ergebnisse seiner diesbezüglichen Untersuchungen veröffentlichte er unlängst in diesem Archiv (1). Es erschien wünschenswerth, diese Untersuchungen auch auf andere Classen des Thierreichs auszudehnen, um so den Energieverbrauch der verschiedenen Entwicklungsprocesse vergleichen zu können.

Auf Anregung des Herrn Prof. F. Tangl habe ich den Seidenspinner (Bombyx Mori) als Versuchsobject gewählt und unter seiner Leitung die folgenden Untersuchungen ausgeführt.

Das Seidenspinnerei enthält ebenso wie das Vogelei alle jene Stoffe, welche der Embryo zum Aufbau seines Körpers braucht, und welche die „Entwicklungsarbeit" liefern. Während der Bebrütung nimmt es aus der Aussenwelt nur Sauerstoff eventuell Wasser auf und gibt Kohlensäure und Wasser ab. Nach unseren jetzigen Kenntnissen werden also ebenso wie bei dem Vogelei von aussen keine chemische Energie enthaltenden Substanzen zugeführt; andererseits entweichen auch keine energiehaltigen Substanzen. Dieser Umstand ermöglicht es, aus der Differenz, welche zwischen der Stoff- und Energiemenge der unbebrüteten und bebrüteten Eier besteht, jene Stoff- und Energiemenge zu bestimmen, welche während der embryonalen Entwicklung verbraucht wird, das heisst: wir können auf diese Art die absolute Menge der verbrannten Substanz und die Grösse der „Entwicklungsarbeit" — wie Tangl die Menge der verbrauchten chemischen Energie benannt hat — messen.

Die Seidenspinnereier sind zu solchen Untersuchungen aus mehreren Gründen geeignet. Einerseits kann man sie aus den Seidenraupenzuchtanstalten in grösseren Mengen und gleichartiger Qualität beziehen. In diesen Anstalten wird auch grosse Sorge darauf verwendet, um die Eier stets vollkommen gesund zu erhalten, so dass man unter den bezogenen Eiern verhältnissmässig sehr wenig sterile findet. Andererseits aber wurden an Seidenspinnereiern schon mehrere physiologische Untersuchungen ausgeführt, die als Controle und zum Vergleich herangezogen werden können.

Ein weiterer, in mancher Beziehung nicht geringer Vortheil meines Versuchsobjectes bestand auch darin, dass die Versuche gleich an Tausenden von Individuen angestellt wurden, so dass die auf die einzelnen Individuen bezogenen Durchschnittswerthe viel genauer wurden wie in den Versuchen von Tangl, in welchen immer nur mit einzelnen Eiern experimentirt wurde. In Tangl's Versuchen stellten sich, selbst bei genauem Einhalten aller Cautelen, für den Trockensubstanz- und Energiegehalt[1]) der unbebrüteten Eier, wenn auch nicht grosse, doch immerhin bemerkbare individuelle Schwan-

---

1) Unter Energie ist im Folgenden, wenn nicht anders bemerkt, immer chemische Energie verstanden.

kungen heraus, so dass man z. B. für den Fett- und N-Umsatz während des Bebrütens des Hühnereies — aus wenigen Versuchen — keine verlässlichen Daten erhalten kann. Bei den Seidenspinnereiern fallen in Folge der grossen Zahl der Einzelindividuen die individuellen Schwankungen aus, und kann daher der Fett- und N-Umsatz genau bestimmt werden.

Freilich haben die Seidenspinnereier den erwähnten Vortheilen gegenüber auch Nachtheile. Bei den Vogeleiern kann man die unbebrüteten und diejenigen, in welchen die Entwicklung des Embryos aus irgend einem Grunde unterbrochen wurde, ohne Weiteres aus der Untersuchung ausschalten, während man hier höchstens in einem aliquoten Theile des Materials die unentwickelten Eier mit grösserer oder geringerer Genauigkeit zählen und so in Rechnung ziehen, aber nicht alle aus der Untersuchung ausschliessen kann. Auch muss man natürlich auf eine detaillirte Trennung des Ei-Inhalts, wie sie beim Vogelei möglich ist, hier verzichten.

Ausser dem Stoff- und Energieumsatz im Ei untersuchte ich auch in einer besonderen Versuchsreihe den Stoff- und Energiewechsel der nüchternen Raupen unmittelbar nach dem Ausschlüpfen. Zu diesem Zwecke liess ich sie zu Tode hungern.

Wenn es auch im Interesse der Vollständigkeit dieser Versuche gelegen hätte, die Untersuchungen auf die ganze Entwicklungsperiode der Raupen — also auch auf den Stoff- und Energieumsatz der gefütterten und wachsenden Raupen — auszudehnen, so musste ich äusserer Verhältnisse wegen einstweilen davon abstehen, — was ich übrigens um so eher thun konnte, als wir durch die exacten Untersuchungen Kellner's (2) den Stoffwechsel dieser Periode so genau kennen, dass man aus ihnen in ziemlich verlässlicher Weise den Energieumsatz berechnen kann. Ich komme auf sie später zurück.

Dagegen konnte ich in einer dritten Versuchsreihe die letzten Entwicklungsperioden des Seidenspinners, in welchen wiederum keine Nahrungsaufnahme stattfindet, gleichzeitig aber die tiefgreifenden morphologischen Umwandlungen charakteristische Wendepunkte seines Lebens bilden, zum Gegenstande ähnlicher Untersuchungen wie bei den Eiern heranziehen. Ich ermittelte den Energieumsatz während des Einpuppens, während der Entwicklung der Puppe zum Schmetterling und den Energieverbrauch des Schmetterlings vom Ausschlüpfen bis zum natürlichen Tode.

II. Beschreibung der allgemeinen Versuchsanordnung und der angewandten Untersuchungsmethoden.

Zur Ermittlung der „Entwicklungsarbeit" musste nach dem oben Gesagten die Differenz des Stoff- und Energiegehalts der unbebrüteten und der bebrüteten Eier bestimmt werden. Dementsprechend habe ich vor Allem in der ersten Versuchsreihe den Trockensubstanz-, N-, Fett- (+ Fettsäure), Asche- und Energiegehalt der unbebrüteten Eier festgestellt Ein bestimmter, abgewogener und gezählter Theil der Eier wurde gleichzeitig in den Brutapparat gebracht. Die Raupen wurden während des Ausschlüpfens von ihren Eischalen getrennt und beide ebenso analysirt wie die unbebrüteten Eier. Im Besitze dieser analytischen Daten kann man nicht nur auf die Menge der umgesetzten chemischen Energie, die „Entwicklungsarbeit", und der verbrauchten Stoffe, sondern, bis zu einer gewissen Grenze, auch auf die Qualität derselben schliessen. In dieser Versuchsreihe wurde die CO_2-Production der Eier vom Anfange des Bebrütens bis zum Beginne des Ausschlüpfens täglich bestimmt.

Die Versuchsanordnung der zweiten Versuchsreihe war wesentlich dieselbe; nur habe ich hier den Stoff- und Energieumsatz in den bebrüteten Eiern zusammen mit demjenigen der ausgeschlüpften hungernden Raupen und die gesammte CO_2-Production während dieser zwei Perioden bestimmt. Letzteres geschah sowohl direct aus der Menge der exspirirten CO_2 wie auch indirect aus dem Unterschied des C-Gehaltes der unbebrüteten Eier und der Raupen + Bebrütungsrückstand. Aus dieser Versuchsreihe erfährt man annähernd, wieviel Stoff und Energie der Embryo während seiner Entwicklung und die ausgeschlüpfte Raupe in den ersten Tagen ihres Lebens verbrauchen; weiterhin kann man durch den Vergleich der Werthe der zweiten und der ersten Versuchsreihe auf den Stoff- und Energieumsatz der ausgeschlüpften nüchternen Raupen folgern.

Ueber die allgemeinen Principien, nach welchen die Versuchsreihe III angeordnet wurde, findet man Näheres in dem Capitel IV.

Die angewandten Untersuchungsmethoden der eben geschilderten Versuchsreihen beschreibe ich kurz in Folgendem:

Gewicht und Zahl der verwendeten Eier: Kleinere Mengen (0,3—0,8 g) von gut durchmischten Eiern wurden gewogen und in denselben die Zahl der Eier festgestellt. Gleichzeitig zählte ich auch die eingetrockneten und andere anormale Eier.

Trockensubstanzgehalt: Getrocknet wurde (1—2 g) bis zur Gewichtsconstanz im Vacuum (resp. bei 160 mm Hg-Druck) bei 85—90° C. über conc. H_2SO_4.

N-Gehalt: Nach Kjeldahl bestimmt (0,2—1,5 g Substanz); als Katalysator benutzte ich Kupfersulfat.

Fettgehalt bestimmte ich (in 2—3 g Substanz) nach der Liebermann-Székely'schen Verseifungsmethode.

Energiegehalt: Verbrannt wurden abgewogene Mengen (0,3—0,8 g Trockensubstanz) in der Berthelot-Mahler'schen Bombe[1]).

Aschegehalt: Ca. 1 g Substanz wurde ohne Extraction in einer Platinschale verascht[2]).

---

1) Vielleicht wird es nicht überflüssig sein, einige kleine Griffe zu erwähnen, mit denen ich den Schwierigkeiten begegnete, auf welche ich bei diesen calorimetrischen Bestimmungen stiess.

Die zu verbrennende Substanz wurde in jedem Falle vorher getrocknet (im Vacuum [resp. 160 mm Hg-Druck], bei 60° C.).

Die getrockneten unbebrüteten Eier vermahlte ich zu möglichst feinem Pulver, was aber in Folge der Elasticität und Resistenz der Eischalen nur unvollständig gelang. Aus diesem Pulver konnten keine Pastillen gepresst werden, weil schon bei relativ kleinem Druck Fett aus der Pastille austrat. Auch die mit Hilfe des Filtrirpapiers gepressten Pastillen konnten nicht verwendet werden, denn wenn man sie nur locker zusammenpresste, verbrannten sie nicht vollständig; wenn ich sie aber zusammenzudrücken versuchte, wurde auch das Fett ausgepresst. Hingegen kann man die pulverisirten Eier glatt verbrennen, wenn man 0,5—0,6 g der Substanz — welche Menge bei der Verbrennung in unserem Calorimeter eine Temperaturerhöhung von 1,2° C. gab — in der Platinschale der calorimetrischen Bombe mit 1—2 ccm destillirten Wassers durchfeuchtet und am Wasserbad eintrocknet. Das Pulver blieb dann in Form einer compacten Masse am Boden der Schale angeklebt.

Aus den pulverisirten kleinen Raupen konnte ich ohne Fettverlust Pastillen pressen, trotzdem der Fettgehalt dieser beinahe jenem des Eierpulvers gleichkommt (Eierpulver ca. 20%, Raupen ca. 18%).

Die leeren Eischalen konnte ich nur mit Filtrirpapier verbrennen. Abgewogene Mengen (0,30—0,35 g) wurden in reines gewogenes schwedisches Filtrirpapier (0,4—0,5 g) eingewickelt und so in einer Pastillenpresse festgepresst. War der Druck zu klein, oder wurden mehr als 0,35 g Substanz genommen, so war die Verbrennung nie vollständig. (Die Verbrennungswärme des zu diesen Pastillen verwendeten Schleicher-Schüll'schen Filtrirpapiers fand ich in mehreren Bestimmungen zu 4167,1 cal.)

2) Diese Methode des Veraschens konnte desshalb angewendet werden, weil die Seidenspinnereier, wie überhaupt dieses Insect auch in seinen späteren

Die Ausbrütung der Eier geschah im Thermostaten in einem Glascylinder derart, dass die producirte CO_2-Menge bestimmt werden konnte. Die Einrichtung des Apparates entspricht dem von Bohr und Hasselbalch (3) zur Bestimmung der CO_2-Production des Hühnerembryos (s. Fig. 1). Von der Verlässlichkeit dieser Einrichtung überzeugte ich mich vor dem Beginne der Versuche durch Erzeugung von CO_2 aus einer bekannten Menge von Kaliumhydrocarbonat. Die Fehler betrugen nicht mehr als $\pm$ 2—4‰. Die Intensität der Ventilation war während des Versuches nicht constant. Am Beginne des Versuches, als täglich nur 0,03—0,06 g CO_2 producirt wurden, war der Luftstrom nur so stark, dass in der Schwefelsäure der Waschflasche (4) 30—40 Blasen per Minute auf-

Entwicklungsperioden, Cl nur in Spuren enthalten (qualitativ ist das Cl in dem Waschwasser der Calorimeterbombe nachweisbar), und die Phosphorsäure bei solcher Veraschung nicht entweicht. Von letzterer Thatsache habe ich mich durch Controlveraschungen mit Ammoniumnitrat überzeugt.

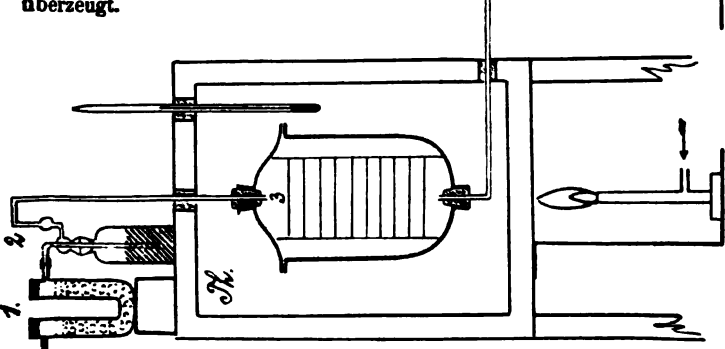


Fig. 1. *Th.* = Thermostat, *1* = Natronkalkrohr, *2* = Waschflasche mit Baryumhydroxydlösung, *3* = Brutraum von etwa 1,2 Liter Volumen, in welchem die Eier auf Tüllrahmen dünn aufgeschichtet sind, *4* = Waschflasche mit conc. Schwefelsäure, *5* und *6* = Chlorcalciumröhren, *7* und *8* = Geissler'sche Flaschen mit Kalilauge von 1,27 spec. Gew., die Schliffröhre mit Chlorcalcium, *9* = Chlorcalciumrohr, *10* = Waschflasche mit conc. Schwefelsäure.

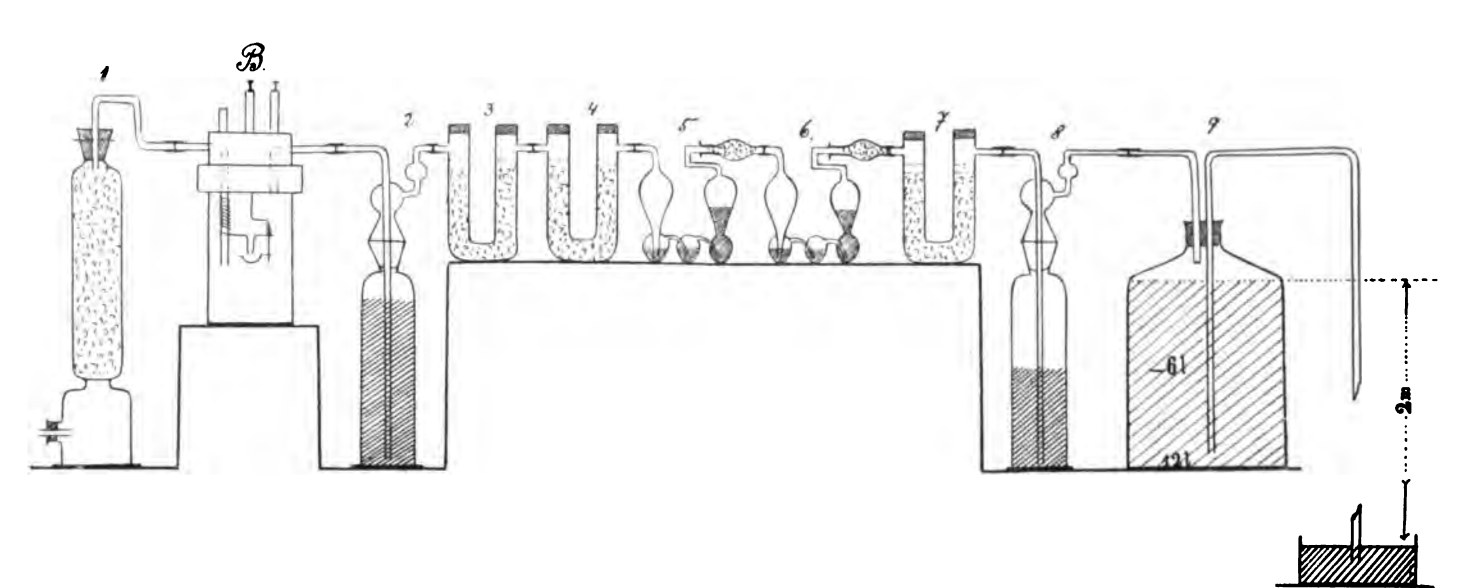


Fig. 2. *B.* = Calorimeterbombe, *1* = Trockencylinder mit Natronkalk, *2—8* ebenso, wie *4—10* bei Fig. 1, *9* = Flasche von 12 Liter Inhalt, zum Zwecke, dass die aus ihr durch ein 2 m langes Rohr herabfallende Wassersäule im ganzen System negativen Druck erzeuge.

stiegen, bei 0,1—0,3 g CO_2-Production 60—120, bei 0,3—1,5 g CO_2-Production 120 - 240 per Minute. Um die CO_2-Production Tag für Tag zu kennen, habe ich die Geissler'schen Flaschen (7—8) und das darauf folgende Chlorcalcium-Rohr (9) täglich, wo möglich in derselben Stunde, gewogen.

In der Versuchsreihe II habe ich, wie schon oben erwähnt, die auf diese Weise ermittelte gesammte CO_2-Production noch dadurch controlirt, dass ich den C-Gehalt der unbebrüteten Eier und der Raupen + Bebrütungsrückstand bestimmte. Dies geschah durch Verbrennung in der calorimetrischen Bombe, in welcher der CO_2-Gehalt nach der Verbrennung in ähnlicher Weise festgestellt wurde, wie es z. B. Langbein (4) angibt (s. Fig. 2).

Die Zahl und das Gewicht der ausgekrochenen Raupen habe ich in der ersten Versuchsreihe direct aus dem Versuchsmaterial bestimmt, in der zweiten Versuchsreihe aber abgesondert aus einem kleineren, abgewogenen, aliquoten Theil der Eier, welcher unter ähnlichen Verhältnissen ausgebrütet wurde wie die eigentlichen Versuchseier. Sobald das Ausschlüpfen der Raupen begann, habe ich die Raupen ausgelesen, gewogen und dann von diesen genau abgezählte 50—900 Raupen abermals abgewogen. So konnte man das Gesammtgewicht, die Zahl sämmtlicher an diesem Tage ausgeschlüpfter Raupen, dann das Durchschnittsgewicht der einzelnen Raupen und — da die Zahl der bebrüteten Eier gleichfalls bekannt war — das Brutresultat in Procenten der in den Versuch gestellten Eier berechnen.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass sämmtliche Analysen resp. Verbrennungen doppelt, nöthigenfalls auch mehrfach ausgeführt wurden, so dass die mitgetheilten Daten stets Mittelwerthe von mindestens zwei gut übereinstimmenden Bestimmungen sind.

III. Stoff- und Energieumsatz des Embryo im Seidenspinnerei und der Raupen unmittelbar nach dem Ausschlüpfen.

1. Beschreibung der Versuchsreihe I.

Zum Versuche dienten ungefähr 70 g — aus der Szegzárder kgl. ung. Seidenzuchtanstalt bezogener — „Imperial original“ bezeichneter Seidenspinnereier. Von diesen nahm ich ca. 35 g zur Analyse und ebensoviel zum Ausbrüten. Die wenigen eingetrockneten Eier wurden entfernt.

Die so ausgewählten Eier gaben bei der Probezählung folgende Werthe.

Tabelle I.

Nummer der Probe	Gewicht der Eier g	Zahl der Eier	Zahl der eingetrockneten Eier
1	0,3560	509	3
2	0,4971	714	4
3	0,4136	595	4

Nach dieser Tabelle finden sich in 1 g

in der 1. Probe . . .	1430	Stück
„ „ 2. „ . . .	1436	„
„ „ 3. „ . . .	1438	„
durchschnittlich	1435	Stück Eier;

dementsprechend wiegt ein Ei

nach Probe 1 . . .	0,699	mg
„ „ 2 . . .	0,696	„
„ „ 3 . . .	0,695	„
durchschnittlich	0,697	mg.

Unter 1818 Eiern waren 11 eingetrocknete, also ca. 0,6%.

Sowohl die auszubrütenden wie die zur Analyse bestimmten Eier wurden am 1. Tage des Versuches gewogen. Die letzteren Eier wurden durch Eintrocknen in Vacuum — bei 60° C. — getödtet.

Die Zusammensetzung der unbebrüteten Eier war folgende:

In 100 g sind

Wasser	64,56	g
Trockensubstanz	35,44	„
Organische Substanz . . .	34,10	„
Fett	7,34	„
N	3,48	„
Asche	1,33	„

1 g unbebrüteter Eier enthält 2163,4 cal. chemische Energie,

1 g Trockensubstanz der unbebrüteten Eier enthält 6104,9 cal. chemischer Energie (specifischer Energiegehalt).

1 g Aetherextract (Fett) der unbebrüteten Eier enthält 9343 cal. chemischer Energie.

Zum Ausbrüten nahm ich 33,00 g Eier; diesem Gewicht entsprechen 47360 Stück Eier, von welchen ca. 280 Stück eingetrocknet

sind. Nach den eben angeführten analytischen Daten enthalten diese 33,00 g Eier:

Trockensubstanz .	17,70	g
Fett	2,42	„
N	1,27	„
Asche	0,44	„
Energie	71,40	Cal.

Die Ausbrütung begann am 5. Februar 1902; am ersten Tage der Ausbrütung schwankte die Temperatur des Thermostaten zwischen 13—16° C., und von da angefangen erhöhte ich die Temperatur — nach dem Vorschlage der einschlägigen Handbücher — täglich, möglichst gleichmässig, bis zum 8. Tag, an welchem die Temperatur 24,5° C. erreichte. Diese Temperatur blieb bis zum Ende des Versuches unverändert. Das Ausschlüpfen der Raupen begann am 16. Februar früh zwischen 7—8 Uhr. Das Ausbrüten nahm also 11 Tage in Anspruch. Das Auskriechen der Raupen dauerte aber 17 Tage, so dass das Ausbrüten und Ausschlüpfen zusammen 28 Tage in Anspruch nahm. Diese Periode ist bei dem normalen Ausschlüpfen im Frühjahre bedeutend kürzer, da das Bebrüten 4—6 Tage, das Auskriechen 3 Tage dauert. Die auffallend lange Dauer des Ausschlüpfens in unserem Versuche ist — wie Haberlandt's (5) Versuche beweisen — auf die unvollständige Ueberwinterung zurückzuführen.

Während der Bebrütung bestimmte ich — wie oben angegeben — die producirte CO_2-Menge. Während des Ausschlüpfens konnte ich die CO_2-Bestimmung nicht weiter fortsetzen, da ich die ausgekrochenen Raupen täglich entfernen musste, was manchmal 4—5 Stunden in Anspruch nahm. Diese Versuchsreihe gibt demnach keine Aufklärung über die gesammte CO_2-Ausscheidung der Eier, sondern sie zeigt nur das Anwachsen der CO_2 mit der Erhöhung der Bruttemperatur und mit dem Fortschreiten der Bebrütung, d. h. also mit der fortschreitenden Entwicklung des Embryo.

Die Tabelle II enthält die diesbezüglichen Daten mit der Angabe der Temperatur des Thermostaten (siehe auch Fig. 3).

Nach Tabelle II geben 100 g Eier während des Bebrütens bis zum Beginne des Auskriechens 4,1 g CO_2 aus. Am grössten war die Menge der CO_2 am ersten Tage des Ausschlüpfens, was leicht erklärlich ist aus jenem Umstand, dass die zu dieser Zeit aus-

kriechenden Raupen sich stark bewegten, einzelne sogar zur Zeit der letzten CO_2-Wägungen — am 11. Tage — zwischen den Eiern herumkrochen.

Tabelle II.

Versuchsreihe I.

Die producirte CO_2 wurde gewogen am Tag u. Monat	um Stunde Morgens	Die gewogene CO_2 wurde producirt in Stunden	Menge der producirten CO_2 in g	CO_2-Production pro 100 g Eier und 24 Stunden in g	CO_2-Production pro 100 g Eier vom Anfang der Bebrütung in g	Temperatur des Thermostaten in ° C.	Bemerkungen
6. Febr.	8	15	0,0122	0,059	0,059	13—16	Anfang der Bebrütung am 5. Februar 5 Uhr Nachmittags.
7. „	8	24	0,0333	0,101	0,160	17,0	
8. „	8	24	0,0567	0,172	0,332	18,0	
9. „	8	24	0,0580	0,176	0,508	20,3	
10. „	9	25	0,0625	0,182	0,690	22,0	
11. „	9	24	0,1289	0,391	1,081	22,0	
12. „	10	25	0,1430	0,416	1,497	23,8	
13. „	10	24	0,1954	0,592	2,089	24,5	
14. „	10	24	0,1917	0,581	2,670	24,5	
15. „	9	23	0,1861	0,588	3,258	24,5	
16. „	$9^1/_2$	$24^1/_2$	0,2846	0,845	4,103	24,5	

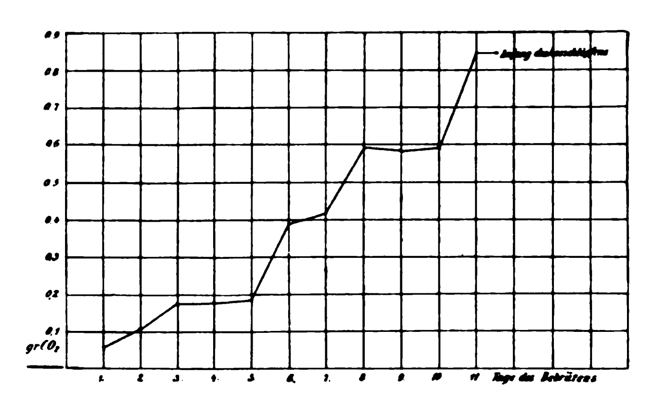


Fig. 3. Von 100 g Eier ausgeschiedene CO_2-Menge in Versuchsreihe I.

Das Auskriechen begann am 16. Februar, und von dieser Zeit angefangen schlüpften Raupen bis zum 4. März aus, an welchem Tage keine neuen Raupen mehr auskrochen. Die auskriechenden Raupen wurden täglich während ihres Auskriechens — was, wie ich schon erwähnte, öfter einige Stunden dauerte — von den Eiern ge-

trennt und nach dem Abwägen, mit Aetherdämpfen betäubt, in den Vacuumtrockenschrank gebracht, wo sie in 1—2 Minuten starben. Eigentlich hätte man jede Raupe gleich im Momente des Ausschlüpfens tödten müssen. Dies war aber wegen ihrer grossen Zahl nicht ausführbar, besonders nicht an jenen Tagen (am 19., 20., 21. Februar), an welchen das Ausschlüpfen so massenhaft vor sich ging, dass einzelne Raupen möglicher Weise auch 1—2 Stunden lang lebten.

Ueber den Verlauf des Ausschlüpfens gibt folgende Tabelle III (siehe S. 502) näheren Aufschluss.

Die grösste Menge sowohl an Zahl wie an Gewicht schlüpfte am 4. Tage aus. Am 4., 5. und sechsten Tage war das Auskriechen annähernd gleich; von da an bis zum Ende des Ausschlüpfens nahm die Zahl der ausschlüpfenden Raupen successive ab.

Das durchschnittliche Körpergewicht der Raupen ist während des Auskriechens nicht gleich; die täglichen Durchschnittsgewichte weisen grosse Differenzen auf. Die am 1. Tage ausgekrochenen Raupen waren die kleinsten, die des 7. Tages die grössten.

Aus den 47 360 Eiern krochen insgesammt 42 226 Raupen, d. h. 89,87 % aus. Das Körpergewicht dieser Raupen betrug 19,54 g, so dass das Mittelgewicht je einer Raupe 0,463 mg = 66,14 % des Durchschnittsgewichtes eines Eies (0,697 mg) war.

Das Gewicht des Bebrütungsrückstandes (Eischalen + 10,13 % unentwickelter Eier) war am 4. März 4,83 g.

Die Zusammensetzung der Raupen und des Bebrütungsrückstandes ist folgende:

Es sind enthalten in

	100 g Raupen	100 g Bebrütungsrückstand
Wasser	71,78 g	13,98 g
Trockensubstanz	28,22 „	86,02 „
Organische Substanz	26,44 „	84,16 „
Fett	5,32 „	4,45 „
N	3,04 „	13,77 „
Asche	1,78 „	1,87 „

Energiegehalt.

	Raupen	Bebrütungsrückstand
In 1 g	1631,7 cal.	4560 cal.
In 1 g Trockensubstanz	5782 „	5301 „

Tabelle III.

Datum 1902	Gewicht der ausgeschlüpften Raupen g	Durchschnittliches Gewicht einer Raupe mg	Zahl der Raupen, aus deren Gewicht d. durchschnittliche Gewicht einer Raupe berechnet wurde	Zahl der ausgeschlüpften Raupen: absolut	Zahl der ausgeschlüpften Raupen: in Procenten der bebrüteten Eier	Seit Beginn der Bebrütung krochen Raupen aus: g	Seit Beginn der Bebrütung krochen Raupen aus: Stück	Seit Beginn der Bebrütung krochen Raupen aus: %
16. Februar	0,1726	0,4014	422	430	0,91	0,1726	430	0,91
17. „	0,5687	0,4262	480	1334	2,83	0,7413	1 764	3,74
18. „	1,4393	0,4291	839	3354	7,12	2,1806	5 118	10,87
19. „	3,3264	0,4480	412	7424	15,77	5,5070	12 542	26,64
20. „	3,2837	0,4596	995	7145	15,18	8,7907	19 687	41,82
21. „	3,2271	0,4708	707	6845	14,56	12,0178	26 532	56,38
22. „	2,0985	0,4937	555	4254	9,03	14,1163	30 786	65,41
23. „	1,7350	0,4706	510	3687	7,83	15,8513	34 473	73,24
24. „	1,3456	0,4724	725	2784	6,05	17,1969	37 257	79,30
25. „	0,8723	0,4829	450	1806	3,84	18,0692	39 063	83,14
26. „	0,4400	0,4759	332	924	1,96	18,5092	39 987	85,10
27. „	0,4827	0,4740	315	1018	2,16	18,9919	41 005	87,26
28. „ } 1. März }	0,3736	0,4571	450	817	1,74	19,3655	41,822	89,00
2. „ } 3. „ }	0,1509	0,4275	353	353	0,76	19,5164	42 175	89,76
4. „	0,0220	0,4313	51	51	0,10	19,5384	42 226	89,87

Tabelle IV.

	Trockensubstanz g	Trockensubstanz %[1]	Fett g	Fett %	N g	N %	Asche g	Asche %	Energie Cal.	Energie %
Unbebrütete Eier	11,696	—	2,4241	—	1,2669	—	0,4405	—	71,402	—
Raupen	5,5135	47,14	1,0396	42,89	0,5931	46,83	0,3484	79,13	31,879	44,65
Bebrütungsrückstand (Eischale + unentwickelte Eier)	4,157	35,54	0,2150	8,87	0,6651	52,52	0,0900	20,45	22,291	31,22
Während der Bebrütung wurden verbraucht	**2,0255**	**17,32**	**1,1695**	**48,24**	**(0,0084)**	**(0,65)**	**(0,0021)**	**(0,42)**	**17,232**	**24,18**

1) Die Procentzahlen beziehen sich auf die Werthe der unbebrüteten Eier.

Dieser Analyse entsprechend sind enthalten in

	19,54 g Raupen	4,83 g Bebrütungsrückstand
Trockensubstanz . . .	5,51 g	4,16 g
Fett	1,04 „	0,22 „
N	0,59 „	0,67 „
Asche	0,35 „	0,09 „
Energie	31,88 Cal.	22,91 Cal.

Aus den analytischen Daten der unbebrüteten Eier einerseits, der Raupen und des Bebrütungsrückstandes andererseits können wir nun die Stoff- und Energiebilanz des Seidenspinnerembryos aufstellen. Tabelle IV (s. S. 502) enthält diese Bilanz (bei 89,9 % Brutresultat!).

Die eingehendere Besprechung der Versuchsresultate soll später in Capitel III Abschnitt 3 erfolgen.

2. Beschreibung der Versuchsreihe II.

Die ausgeschlüpften Raupen können, wie jedes Thier, eine gewisse Zeit lang ohne Nahrungsaufnahme ihr Leben erhalten. Während dieser Zeit verbrauchen sie einen Theil der in ihrem Körper befindlichen energiehaltigen Stoffe.

In der II. Versuchsreihe liess ich die ausgekrochenen Raupen bis zu ihrem spontanen Tode hungern, wobei sie noch eine bedeutende Stoff- und Energiemenge verbrauchten.

Damit diese Versuchsreihe mit Versuchsreihe I verglichen werden kann, habe ich in beiden Versuchen Seidenspinnereier derselben Rasse (Imperial original) verwendet; ausserdem wurde das Bebrüten unter denselben Bedingungen ausgeführt wie in Versuchsreihe I. Auch die ausgekrochenen Raupen liess ich in demselben Behälter, bei derselben Temperatur und Ventilation.

Die Eier habe ich vor dem Beginne des Versuches so weit als möglich von den leeren Eischalen und eingetrockneten Eiern befreit. Verhältnissmässig war die Zahl der eingetrockneten Eier eine ziemlich grosse, und da man diese nicht leicht entfernen kann, wurde die Zahl dieser fehlerhaften Eier genau bestimmt.

Zahl und Gewicht der Eier gibt Tabelle V an.

Tabelle V.

Nummer der Probe	Gewicht der Eier g	Zahl der Eier Stück	Zahl der eingetrockneten Eier Stück
1	0.4429	623	15
2	0.4573	641	23
3	0.8944	1259	34

Die Zahl der Eier betrug bei den einzelnen Proben auf 1 g berechnet:

1. Probe . . . . 1407 Stück
2. " . . . . 1402 "
3. " . . . . 1408 "

Mittel 1405 Stück.

Das berechnete Durchschnittsgewicht eines Eies war:

in Probe 1 . . . . 0,711 mg
" " 2 . . . . 0,713 "
" " 3 . . . . 0,710 "

Diese Eier sind daher um 2,07 % schwerer als die Eier der I. Versuchsreihe.

Eingetrocknete Eier fand ich unter den gezählten 3610 Stück Eiern 108 = 2,99 %.

Die Zusammensetzung der unbebrüteten Eier war folgende:

	100 g Eier enthalten
Wasser	63,97 g
Trockensubstanz	36,03 "
Organische Substanz . .	34,80 "
Fett	8,15 "
N	3,95 "
C	19,29 "
Asche	1,23 "

1 g unbebrüteter Eier enthält 2149 cal. chemische Energie,

1 g Trockensubstanz der unbebrüteten Eier enthält 5965 cal. chemischer Energie.

Die Eier wurden in einem ähnlichen cylindrischen Behälter wie in Versuchsreihe I am 9. März 1902 in den Thermostaten gebracht; die Temperatur wurde von 18° C. am ersten Tage bis zum 24. März allmählich auf 26° C. erhöht, von da bis zum Ende des Versuches

(1. April) constant auf dieser Höhe erhalten. Das Ausschlüpfen begann am 23. März, d. h. am 14. Tage des Bebrütens. An diesem Tage aber schlüpften nur 1—2 Raupen aus; das massenhafte Auskriechen nahm eigentlich erst am nächsten Tage seinen Anfang. Die auskriechenden Raupen blieben in dem Behälter, theils am Rande der Brutrahmen, theils an der Wand des Behälters und in den selbst gesponnenen Netzen. Tagsüber lagen sie meist unbeweglich; nur in den Morgenstunden, oder wenn Licht in den Thermostaten eindrang, bewegten sie sich lebhafter. Nach den Controlversuchen hörte das Ausschlüpfen am 7. Tage (am 31. März) nach dem Beginne des Ausschlüpfens auf. Am 8. Tage war die producirte CO_2-Menge noch immer eine bedeutende, aus welchem Umstand man darauf schliessen konnte, dass ein grosser Theil der Raupen noch am Leben war. Diese CO_2-Production hat aber, wie sich aus dem weiter unten Mitgetheilten herausstellen wird, wahrscheinlich eine andere Quelle. Den Versuch konnte ich über den 8. Tag nach dem Beginne des Ausschlüpfens nicht mehr fortsetzen, da ich befürchten musste, dass die abgestorbenen Raupen, welche den Boden des Behälters in dicker Schicht bedeckten, verschimmeln eventuell verfaulen würden. Am 1. April beendete ich den Versuch. Den ganzen Inhalt des Behälters, d. h. die Raupen — von denen keine mehr am Leben war —, die Eischalen und die unentwickelten Eier, habe ich gut durchgemischt, eingetrocknet, pulverisirt und so zur Analyse verwendet.

In dieser Versuchsreihe wurden zur Bebrütung 45,87 g Eier genommen, deren Zusammensetzung folgende war:

Trockensubstanz . . .	16,53 g	
Fett	3,74 „	
N	1,81 „	
C	8,85 „	= 32,45 g CO_2
Asche	0,56 „	
Energie	98,58 Cal.	

Während des Bebrütens und des Ausschlüpfens resp. des Hungerns der Raupen, bis zu ihrem Tode, wurde die producirte CO_2-Menge täglich gewogen (siehe Tabelle VI auf S. 506).

In den ersten 4 Tagen des Bebrütens war die CO_2-Ausgabe ziemlich gleich; an den folgenden Tagen bis zu dem 14. Tage erhöhte sich die CO_2-Production — auf 100 g Eier bezogen — täglich ungefähr um 0,1 g; am Tage des Ausschlüpfens stieg sie plötzlich, am 4., 5. und 6. Tage des Auskriechens erreichte sie das Maximum,

Tabelle VI.

Tag und Monat 1902	Die gewogene CO_2 wurde producirt in		Die gewogene CO_2 g	Die CO_2-Production auf 24 Stunden berechnet g	Gesammt-CO_2-Production vom Anfang der Bebrütung an g	CO_2-Production pro Tag auf 100 g Eier bezogen g	Temperatur des Thermostaten ° C.	Anmerkung
	Stunden	Minuten						
10. März	24	55	0,0530	0,0510	0,0530	0,1113	18,1	
11. „	23	40	0,0423	0,0429	0,0953	0,0935	18,3	
12. „	27	50	0,0668	0,0576	0,1621	0,1255	18,1	
13. „	21	15	0,0340	0,0384	0,1961	0,0837	20,2	
14. „	20	20	0,0999	0,1179	0,2960	0,2571	20,2	
15. „	22	25	0,1254	0,1343	0,4214	0,2927	20,3	
16. „	24	40	0,1889	0,1838	0,6103	0,4007	23,3	
17. „	24	50	0,2175	0,2102	0,8278	0,4582	23,0	
18. „	26	10	0,2639	0,2421	1,0917	0,5277	23,0	
19. „	24	50	0,3055	0,2952	1,3972	0,6436	23,0	
20. „	21	15	0,3343	0,3775	1,7315	0,8230	24,5	
21. „	23	50	0,4594	0,4626	2,1909	1,0085	24,5	
22. „	22	20	0,4632	0,4978	2,6541	1,0851	24,5	Am 22. März krochen 1—2 Raupen aus. 23. März: Anfang des massenhaften Auskriechens der Raupen.
23. „	24	20	0,5938	0,5857	3,2479	1,2767	24,5	
24. „	21	50	0,7642	0,8401	4,0121	1,8313	26,0	
25. „	25	10	1,1368	1,0841	5,1489	2,3633	26,0	
26. „	22	30	1,3126	1,3998	6,4615	3,0514	26,0	
27. „	24	40	1,3626	1,3258	7,8241	2,8901	26,0	
28. „	23	40	1,4438	1,4642	9,2679	3,1918	26,0	
29. „	24	30	1,2233	1,1983	10,4912	2,6123	26,0	
30. „	23	55	1,1761	1,1802	11,6673	2,5728	26,0	
31. „	24	55	0,8185	0,7886	12,4858	1,7186	26,0	
1. April	24	50	0,6040	0,5839	13,0898	1,2725	26,0	

und von da ab sank sie bis zum Ende des Versuches, wie das die graphische Darstellung in Fig. 4 veranschaulicht.

100 g Eier producirten bis zum Beginne des Auskriechens 8,75 g CO_2, also doppelt so viel wie in der I. Versuchsreihe. Wahrscheinlich lässt sich dies mit der Annahme erklären, dass in der II. Versuchsreihe die Entwicklung fast in allen Eiern gleichzeitig oder beinahe gleichzeitig einsetzte und gleichmässig verlief, womit der Um-

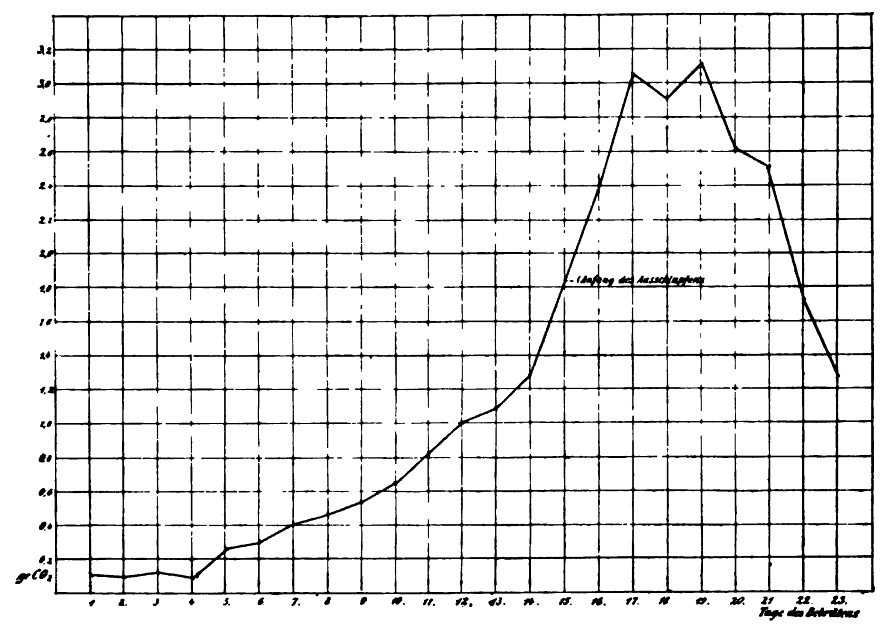


Fig. 4. Von 100 g Eier ausgeschiedene CO_2-Menge in Versuchsreihe II.

stand gut übereinstimmt, dass das Auskriechen der Raupen nur halb so lange dauerte wie in Versuchsreihe I.

Die 45,87 g Eier gaben bis zum Ende des Versuches insgesammt 13,1 g CO_2 aus, und zwar bis zum Beginne des Auskriechens 4 g, dann während des Auskriechens 9,1 g. Somit fällt auf jeden Tag vor dem Auskriechen durchschnittlich 0,266 g CO_2, auf die Tage des Auskriechens 1,11 g; demnach verhält sich die CO_2-Production der beiden Perioden wie 1 : 4,2. Bemerkt muss werden, dass die Periode des Auskriechens mit dem Hungern der ausgekrochenen Raupen zusammenfällt.

Den Verlauf des Ausschlüpfens konnte ich nicht unmittelbar an den im Respirationsapparat befindlichen 45,87 g Eier feststellen;

zu diesem Zwecke habe ich — wie schon S. 497 erwähnt — eine kleinere Menge (2,72 g) Eier derselben Qualität verwendet.

Diese 2,72 g Eier habe ich unter denselben Verhältnissen ausbrüten lassen wie das eigentliche Versuchsmaterial. Das Ausschlüpfen begann bei beiden an demselben Tage. Die aus diesen 2,72 g Eier ausschlüpfenden Raupen wurden täglich entfernt, gezählt, gewogen und in den Thermostaten (26 ° C., mit Wasserdampf gesättigt) — in mit Gaze bedeckten Glasschälchen — gebracht. Von den in diesen Schälchen separirten, noch lebenden Raupen habe ich täglich eine gewisse Anzahl ohne Auswahl herausgenommen und gewogen. So erfuhr ich die tägliche Abnahme des Körpergewichtes der hungernden Raupen. Die Lebensdauer der hungernden Raupen wurde aber derart festgestellt, dass an jedem Tage von den eben ausgeschlüpften Raupen je 30 separirt und unter diesen täglich die noch lebenden gezählt wurden.

Die Zahl der Eier in den 2,72 g war 3820; von diesen waren eingetrocknet 114, also normale Eier 3706 Stück. Den Verlauf des Ausschlüpfens zeigt Tabelle VII.

Tabelle VII.

Datum Tag und Monat	Gewicht der ausgeschlüpften Raupen g	Durchschnittl. Gewicht einer Raupe mg	Zahl der Raupen, aus deren Gew. das durchschnittl. Gewicht einer Raupe ber. wurde	Zahl der ausgeschlüpften Raupen		Seit Beginn der Bebrütung krochen Raupen aus		
				absolut	in Proc. d. bebrüteten Eier[1]	g	Stück	%[1]
23. März	0,1038	0,519	162	200	5,39	0,1038	200	5,39
24. „	0,5889	0,526	500	1116	30,11	0,6927	1316	35,50
25. „	0,7193	0,501	436	1435	38,72	1,4120	2751	74,22
26. „	0,2111	0,465	454	454	12,25	1,6231	3205	86,47
27. „	0,0376	0,432	87	87	2,29	1,6607	3292	88,76
28. „	0,0064	—	—	15	0,40	1,6671	3307	89,17
29. „	0,0013	—	—	3	0,08	1,6684	3310	89,25

Während 7 Tagen sind aus 86,05 % der gesammten und 89,25 % der normalen Eier die Raupen ausgekrochen. Das Durchschnittsgewicht der einzelnen Raupen war 0,504 mg; hiernach wogen diese Raupen um 8 % mehr als die der I. Versuchsreihe. Das Gewicht der Raupen entspricht 70,83 % des Eigewichtes (0,712 mg). Die Raupen waren demnach auch relativ schwerer wie in Versuch I. Die Hauptmenge

1) Bei der Berechnung dieser Werthe wurden die eingetrockneten Eier abgezogen.

der Raupen — 86 % — ist schon in den ersten 4 Tagen ausgekrochen. Das Durchschnittsgewicht der Raupen zeigt auch hier an den einzelnen Tagen Schwankungen. Die kleinsten sind am 5. Tage, die grössten am 2. Tage ausgeschlüpft.

Nach den Beobachtungen an den 2,72 g wiegenden Eiproben entsprechen 45,87 g 64450 Stück Eier; von diesen sind 1930 eingetrocknet; von den übrigen (62520) Eiern schlüpften 55800 (89,25 %) Raupen aus, deren Gewicht bei ihrem Auskriechen 28,13 g betrug.

Tabelle VIII gibt die Lebensdauer der hungernden Raupen, Tabelle IX die tägliche Abnahme ihres Körpergewichtes an.

Tabelle VIII.

Von 30 Stück	Nach 24 Stunden	48	72	96	120
am 23. März ausgekrochenen Raupen leben noch	30	28	26	10	—
„ 24. „ „ „ „ „	30	29	26	10	—
„ 25. „ „ „ „ „	30	30	26	13	1
„ 26. „ „ „ „ „	30	29	20	7	—
„ 27. „ „ „ „ „	28	20	10	1	—

Tabelle IX.

Datum	Durchschnittliches Körpergewicht einer Raupe am I. Hungertage in mg	II.	III.	IV.	V.	Körpergewicht in % des Anfangsgewichts nach 1 Tage	2 Tagen	3 Tagen	4 Tagen
23. März	0,519 (162)[1]	0,469 (166)	0,431 (100)	0,387 (100)	0,335 (40)	90,28 —	83,02 —	74,55 —	64,53 —
24. „	0,526 (500)	0,494 (177)	0,422 (153)	0,385 (135)	0,377 (52)	93,33 —	80,21 —	73,17 —	71,60 —
25. „	0,501 (436)	0,482 (200)	0,440 (199)	0,414 (170)	0,387 (87)	96,13 —	87,70 —	82,70 —	77,26 —
26. „	0,465 (454)	0,439 (405)	0,426 (150)	0,396 (107)	0,354 (37)	94,41 —	91,62 —	85,23 —	76,62 —
27. „	0,432 (87)	0,390 (80)	0,356 (54)	0,313 (28)	— —	90,24 —	82,28 —	73,55 —	— —

1) Die eingeklammerten Ziffern geben die Zahl der Raupen an, welche zur Bestimmung des durchschnittlichen Körpergewichts gewogen wurden.

Nach Tabelle VIII beträgt die durchschnittliche Lebensdauer der am 1. Tage ausgekrochenen Raupen bei gänzlichem Hungern 3,13 Tage

„ 2.	„ „ „ „ „ „	3,17 „
„ 3.	„ „ „ „ „ „	3,30 „
„ 4.	„ „ „ „ „ „	2,87 „
„ 5.	„ „ „ „ „ „	1,97 „

Die Raupen vom 3. und 2. Tag lebten am längsten, also jene, deren Körpergewicht das grösste war. Die Lebensdauer der an den ersten 4 Tagen ausgekrochenen Raupen kann abgerundet auf 3 Tage gesetzt werden, und da die meisten Raupen in den ersten 4 Tagen herausgeschlüpft sind, dürfte diese Lebensdauer für sämmtliche Raupen gelten.

Die Durchschnittswerthe für die tägliche Abnahme des Körpergewichtes sind nicht ganz richtig. Die an einem Tage ausgekrochenen Raupen dürften nämlich kaum alle gleiches Gewicht besitzen, und wahrscheinlich werden die kleinsten zuerst Hungers sterben, wie es Tab. VIII zeigt. Auf diese Weise werden die am Leben bleibenden verhältnissmässig immer schwerer erscheinen; das Körpergewicht der lebenden Raupen vom 3., 4. und 5. Tage ist daher grösser, als wenn sämmtliche Raupen am Leben geblieben wären.

Bezieht man die Mittelwerthe der letzten 4 Columnen der Tab. IX auf das durchschnittliche Körpergewicht der Raupen beim Ausschlüpfen (0,504 mg), so kann man das mittlere Körpergewicht einer Raupe während des 3tägigen Hungerns berechnen.

Dementsprechend wog die Raupe

mit Anfangsgewicht	0,504 mg
im Mittel am 2. Hungertag	0,468 „
3. „	0,428 „
4. „	0,393 „
Das Mittel dieser 4 Werthe ist	0,448 „

Die Raupen zusammen mit dem Bebrütungsrückstande (Eischalen und unentwickelte Eier) enthalten 10,64 g Trockensubstanz. Die Analyse der letzteren ergab folgende Werthe:

	100 g Trockensubstanz	10,64 g Trockensubstanz enthalten
N . . .	14,47 g	1,54 g
C . . .	49,40 g	5,26 g = 19,28 g CO_2
Fett . .	7,11 g	0,76 g
Asche .	5,26 g	0,56 g
Energie .	532,5 Cal.	56,68 Cal.

Die verbrauchte Stoff- und Energiemenge konnte ebenso wie bei der I. Versuchsreihe aus der Differenz der unbebrüteten Eier und der Raupen + Bebrütungsrückstand bestimmt werden, vorerst musste aber eine Correctur angebracht werden. Der gesammte N-Gehalt der unbebrüteten Eier war nämlich 1,81 g; dagegen fand ich in den Raupen + Bebrütungsrückstand nur 1,54 g N, d. h. mit 0,27 g weniger als die ursprüngliche N-Menge. Dieser Theil des Stickstoffes ist daher auf irgend eine Art verloren gegangen.

Eine Ausscheidung des im thierischen Organismus chemisch gebundenen Stickstoffes in elementarem Zustande ist mit Sicherheit noch nicht festgestellt. Dagegen verlieren thierische Excrete, namentlich Harn und Faeces, beim Eintrocknen oder längeren Aufbewahren durch Zersetzung N in Form von NH_3.

Die ausgeschlüpften Raupen setzen gewöhnlich schon in den ersten Stunden und später noch wiederholt sehr kleine, schwarze Kothballen ab. Der Koth der Seidenraupen ist, wie bei den Insecten überhaupt, sehr reich an Harnsäure.

Aus den Versuchen von Kreidl, Fausto und Leone Sestini, Ranke, Gerard (6) ist aber bekannt, dass die Harnsäure im Harn, so wie auch die reine Harnsäurelösung durch gewisse Mikroorganismen (Micrococcus ureae, Saccharomyces cerevisiae und andere, noch nicht näher bestimmte Arten) schon bei 25 ° C. sehr schnell zersetzt wird. Die letzten Producte dieses Processes sind nach einigen Zwischenstufen H_2O, CO_2 und NH_3. Die Harnsäure im Kothe der nüchternen Raupen zersetzte sich wahrscheinlich auch auf diese Art, besonders in den letzten Tagen des Versuches, als die Luft des Brutraumes mit Wasserdampf gesättigt war und die am Boden befindliche Masse (Koth und todte Raupen) mit Condensationswasser durchtränkt war. Damit hängt wahrscheinlich auch die bedeutende CO_2-Production am letzten Tage des Versuches zusammen, als bereits, wie ich mich überzeugte, keine einzige Raupe mehr am Leben war.

Diese CO_2-Menge dürfte zum grössten Theile ein Product der Harnsäurezersetzung sein. Mit Sicherheit hätte man sie als solches nachweisen können, wenn man aus der Schwefelsäure der nach dem Brutraum folgenden Waschflasche (Fig. 1, 4) die fehlende N-Menge als NH_3 abdestillirt hätte, was leider versäumt wurde, da ich den N-Verlust erst später nach Analysen erkannte.

Wenn meine Voraussetzung, dass man den N-Verlust in der Versuchsreihe II auf Harnsäurezersetzung zurückführen kann, richtig

ist, so muss der fehlende N, 0,27 g, auf Harnsäure umgerechnet und dementsprechend der Trockensubstanz-, N- und Energiegehalt, sowie der C-Gehalt der Raupen + Bebrütungsrückstand in diesem Sinne corrigirt werden.

1 g Harnsäure enthält:

N	0,33 g
C	0,36 g
Energie	2749,9 cal.[1]

Dementsprechend entspricht den 0,27 g N:

Trockensubstanz (Harnsäure)	0,86 g
C	0,29 g
Energie	2244 cal.

Diese Werthe müssen als Correction zu den analytisch, für die Raupen + Bebrütungsrückstand gefundenen addirt werden. Auf diese Weise bekommen wir folgende corrigirte Werthe:

Trockensubstanz . . .	11,50 g
Fett	0,756 g
Asche	0,560 g
N	1,81 g
C	5,55 g
Energie	58,92 Cal.
Specifische Energie . . .	5,12 Cal.

Die Bilanz des Stoff- und Energieumsatzes in der II. Versuchsreihe gestaltet sich nunmehr so, wie es Tab. X zeigt[2]):

---

1) Nach Stohmann und Langbein (7).

2) Betrachtet man die Eischalen bloss als Schutzvorrichtung, so ist es natürlich richtiger, bei der Berechnung die relativen Werthe des Stoff- und Energieverbrauches nicht auf das Gesammtei, sondern auf den Eiinhalt zu beziehen. 100 g Eier enthielten (siehe meine folgende Mittheilung über Chorionin) 10,46 g Chorionin. Rechnet man nun mit diesem Werthe die Daten der Tabelle X um, so werden verbraucht

	des Eiinhaltes	des Gesammteies (Tab. X)
von der Trockensubstanz	42,83 %	30,40 %
von dem Fettgehalt.	79,77 %	79,77 %
„ „ C-Gehalt	44,26 %	37,30 %
„ „ Energiegehalt	53,59 %	40,23 %

Tabelle X.

	Trocken-substanz g	N g	Fett g	Asche g	C g	Energie Cal.
In den unbebrüteten Eiern sind enthalten	16,528	1,812	3,738	0,561	8,85	98,58
In den Raupen + Bebrütungsrückstand sind enthalten .	11,504	(1,812)	0,756	0,560	5,55	58,92
Während der embryonalen Entwicklung und der nachfolgenden Hungerperiode wurden verbraucht	5,024	—	2,982	—	3,30	39,66
Der Verbrauch in Procenten des Stoff- und Energiegehaltes der unbebrüteten Eier	30,40%	—	79,77%	—	37,30%	40,23%

3. Ergebnisse der Versuche.

a) Stoffwechsel im Ei bis zur vollen Reife des Embryo.

Die embryonale Entwicklung des Seidenspinners besteht aus zwei durch die Winterruhe von einander getrennten Perioden. Die Furchung der Eizelle beginnt sofort nach ihrer Befruchtung. In 1—2 Tagen ist das Blastodermstadium erreicht; in diesem stagnirt die Entwicklung ungefähr 9 Monate. Die zweite Periode der Entwicklung beginnt im Frühjahr zur Zeit des Blättertreibens des Maulbeerbaumes; der Embryo entwickelt sich schnell, so dass bereits in 4—6 Tagen die fertige Raupe die Eischale verlässt.

Die I. Versuchsreihe umfasst eigentlich nur diese zweite Periode der embryonalen Entwicklung. Wir können aber unsere Ergebnisse ohne nennenswerthen Fehler auf die ganze embryonale Entwicklung beziehen, denn der Stoffumsatz der ersten Periode macht höchstwahrscheinlich nur einen kleinen Theil jenes der zweiten Periode aus. Die Eier produciren während der Ueberwinterung (also im Blastodermstadium) nach den Versuchen von Luciani und Piutti (8) nur $^1/_{259}$ der CO_2-Menge, welche die Eier unmittelbar vor dem Ausschlüpfen der Raupen exspiriren. Wenn auch diese Zahl dem Verhältniss der Körpergewichte in den zwei Entwicklungsstadien nur annähernd entsprechen dürfte, können wir doch annehmen, dass das Blastoderm im Verhältniss zu der entwickelten Raupe sehr klein und der Stoff- und Energieverbrauch bei dessen Entwicklung so klein ist, dass man ihn vernachlässigen kann.

Stoffverbrauch. Den Stoffumsatz der bebrüteten Seidenspinnereier untersuchte eingehend Tichomiroff (9). Seine Ergebnisse stimmen im Wesentlichen mit meiner I. Versuchsreihe überein. Seine analytischen Daten sind jedoch viel ausführlicher. Tichomiroff analysirte die überwinterten, unbebrüteten, dann die bis zum Weisswerden bebrüteten Eier und fand folgende Werthe:

	Unbebrütete Eier g	Bebrütete Eier g	Unterschied zwischen unbebrüteten und bebrüteten Eiern g
Gewicht	100,00	88,84	— 11,16
Trockensubstanz	35,51	30,20	— 5,31
Eiweiss und unlösliche Salze	11,31	9,20	— 2,11
Wasserextract	5,81	5,46	— 0,35
darin: Glykogen	1,98	0,74	— 1,24
Aetherextract	9,52	6,46	— 3,06
darin: Fett	8,08	4,37	— 3,71
Lecithin	1,04	1,74	+ 0,70
Cholestearin	0,40	0,35	— 0,05
Chorionin	8,87	8,87(?)	—
Chitin	—	0,21	+ 0,21
N-freie Basen	0,02	0,21	+ 0,19

Tichomiroff fand also, dass während des Bebrütens eine bedeutende Menge der Trockensubstanz der Eier (14,95 %) verbraucht wird und der grösste Theil (69,87 %) dieser verbrauchten Menge aus Fett besteht, der kleinere Theil (1/3) aus anderen Stoffen. Eiweiss und Glykogen nahmen beträchtlich ab; demgegenüber haben Lecithin, Peptone und N-haltige Basen zugenommen, und ist Chitin neu entstanden.

Nach Tab. IV (S. 502) verbrauchten meine 19,54 g Raupen während ihrer Entwicklung 2,03 g Trockensubstanz, da

vor der Bebrütung 11,70 g
nach „ „ 9,67 g

Trockensubstanz vorhanden waren. 2,03 g Trockensubstanz entsprechen 17,32 % der gesammten Trockensubstanz der unbebrüteten Eier.

1 g Raupen verbrennen während ihrer embryonalen Entwicklung bis zur vollen Reife:

0,1036 g Trockensubstanz.

Der Trockensubstanzgehalt der ausgeschlüpften Raupen wog 5,51 g; hiernach fallen auf je 1 g embryonaler Trockensubstanz:

0,367 g Trockensubstanzverbrauch.

Was endlich den Stoffverbrauch der einzelnen Individuen betrifft, so entspricht dieser dem 42226. Theil der gesammten verbrauchten Trockensubstanzmenge, d. h. 0,048 mg.

Aus Kellner's (2) Versuchen ist bekannt, wieviel organische Stoffe die gefütterten Raupen während ihres postembryonalen Wachsthums beim Aufbau von je 1 g Körpertrockensubstanz verbrauchen:

In der	I.	II.	III.	IV.	V. Periode[1]
Rohproteïn	0,607 g	0,543 g	0,700 g	0,188 g	0,087 g
Rohfett	0,305 g	0,372 g	0,284 g	0,250 g	—
N-freie Extractstoffe	1,513 g	1,591 g	1,780 g	1,332 g	0,402 g
Organische Stoffe .	2,425 g	2,506 g	2,764 g	—	0,489 g

Diese Werthe müssen aber noch corrigirt werden, da in der Raupe die Proteïne nicht, wie Fett und N-freie Extractstoffe, zu flüchtigen Producten (CO_2 und H_2O) verbrennen, sondern auch feste Abfälle, namentlich Harnsäure, liefern. Wenn wir also aus den oben gegebenen Werthen die Menge der thatsächlich verbrannten Trockensubstanz bekommen wollen, so müssen wir die dem verbrauchten Proteïn entsprechende Harnsäure abrechnen.

Es wurde Harnsäure ausgeschieden

in der	I.	II.	III.	IV.	V. Periode
	0,300 g	0,269 g	0,347 g	0,093 g	0,043 g

Es verbrannten daher während der Entwicklung von je 1 g Trockensubstanz

in der	I.	II.	III.	IV.	V. Periode
	2,125 g	2,237 g	2,417 g	1,677 g	0,466 g

Trockensubstanz.

Für die Entwicklung der Raupen im Ei ist diese Zahl nur 0,367 g, d. h. der Aufbau der Körpertrockensubstanz geht während des embryonalen Wachsthums mit viel kleinerem Stoffverbrauch vor sich als in den späteren Perioden der Entwicklung, in welchen die Raupen reichlich Nahrung aufnehmen und lebhafte Körperbewegungen ausführen. Nur in der V. Periode, wenn die Raupen das 5000 bis 6000fache ihres Anfangsgewichtes erreicht haben, sinkt ihr Stoffverbrauch auf die Werthe des embryonalen Stoffverbrauches. Der

1) Kellner versteht unter „Periode“ den Lebensabschnitt zwischen zwei Häutungen respective zwischen der letzten Häutung und dem Einspinnen. Hier bemerke ich auch, dass die Seidenraupen in den Kellner'schen Versuchen bei derselben Temperatur (24—25° C.) gehalten wurden wie die Eier meiner I. Versuchsreihe (24,5° C.).

Embryo im Ei ist ebenso reichlich mit Nährstoffen versehen und kann in Folge dessen mit viel kleinerem Stoffverbrauch seine Körpersubstanz aufbauen wie im postembryonalen Leben.

N-Umsatz:

N-Gehalt vor der Bebrütung	1,267 g
„ nach „ „	1,258 g
Differenz	0,009 g

Aus der Bilanz ersieht man, dass der gesammte N der unbebrüteten Eier hier — innerhalb der Grenzen der Versuchsfehler — theils in den Raupen, theils in dem Bebrütungsrückstand enthalten ist. Die Eier geben hiernach während des Bebrütens keinen N in elementarer Form aus und assimiliren auch keinen. Dasselbe haben E. Peligot[1]) und später Kellner für die anderen Entwicklungsstadien des Seidenspinners und Henneberg (10) bei den Bienen festgestellt. Der grösste Theil (53%) des N blieb in dem Bebrütungsrückstande zurück, im Gegensatz zu den übrigen Bestandtheilen, deren überwiegender Theil in die Raupen überging.

Die N-Bilanz allein gibt natürlich keinen Aufschluss über die Rolle und Veränderung der einzelnen N-haltigen Substanzen während der Entwicklung. Diesbezüglich können die Tichomiroff'schen Versuche herangezogen werden. Nach diesen nehmen von den N-haltigen Stoffen die Proteïne bedeutend ab; 18,65% des Proteïns der unbebrüteten Eier wandeln sich in andere N-haltige Körper von geringerem Energiegehalt um.

Insofern man aus diesen Daten auf die Rolle der Proteïne während der embryonalen Entwicklung überhaupt schliessen kann, scheint der grössere Theil der Proteïnstoffe als Chitin zum Aufbau des embryonalen Körpers verwendet und der kleinere Theil zersetzt zu werden, wobei gleichzeitig ein Theil jener chemischen Energiemenge geliefert wird, deren Umwandlungen zum Leben und zur Entwicklung des Embryo nothwendig sind.

Fettverbrauch:

Fett vor der Bebrütung	2,424 g
„ nach „ „	1,255 „
Fettverbrauch	1,169 g

1) Citirt nach Kellner (2).

Was endlich den [illegible] der einzelnen Individuen betrifft, so [illegible] Theil der gesammten verbrauchten [illegible] mg

Aus Kellner's [illegible] wieviel organische Stoffe die gefütterten [illegible] ihres [illegible]onalen Wachsthums beim Aufbau [illegible] verbrauchen:

In der	I.	II.	III.	IV.	V. Periode[1])
Rohprotein . . .	[illegible] g	[illegible] g	[illegible] g	0,1[illegible] g	0,087 g
Rohfett	[illegible] g	[illegible] g	[illegible] g	0,250 g	—
N-freie Extractstoffe	1,[illegible] g	[illegible] g	1,[illegible] g	1,332 g	0,402 g
Organische Stoffe .	2,[illegible] g	[illegible] g	2,7[illegible]4 g	—	0,489 g

Diese Werthe [illegible] noch corrigirt werden, da in der Raupe die Proteïne [illegible] wie Fett und N-freie Extractstoffe, zu flüchtigen Producten (CO_2 und H_2O) verbrennen, sondern auch feste Abfälle, namentlich Harnsäure, liefern. Wenn wir also aus den oben gegebenen Werthen die Menge der thatsächlich verbrannten Trockensubstanz bekommen wollen, so müssen wir die dem verbrauchten Proteïn entsprechende Harnsäure abrechnen.

Es wurde Harnsäure ausgeschieden

in der	I.	II.	III.	IV.	V. Periode
	0,300 g	0,269 g	0,347 g	[illegible] g	0,043 g

Es verbrannten daher während der Entwicklung von je 1 g Trockensubstanz

in der	I.	II.	III.	IV.	V. Periode
	2,125 g	2,237 g	2,417 g	1,677 g	0,466 g

Trockensubstanz.

Für die Entwicklung der Raupen im Ei ist diese Zahl nur 0,367 g, d. h. der Aufbau der Körpertrockensubstanz geht während des embryonalen Wachsthums mit viel kleinerem Stoffverbrauch vor sich als in den späteren Perioden der Entwicklung, in welchen die Raupen reichlich Nahrung aufnehmen und lebhafte Körperbewegungen ausführen. Nur in der V. Periode, wenn die Raupen das 5000 bis 6000fache ihres Anfangsgewichtes erreicht haben, sinkt ihr Stoffverbrauch auf die Werthe des embryonalen Stoffverbrauches. Der

---

1) Kellner ve[illegible]iode" den Lebensabschnitt zwischen zwei Häutungen res[illegible]en Häutung und dem Einspinnen. Hier bemerke ich au[illegible]len Kellner'schen Versuchen bei derselben Temperat[illegible], wie die Eier meiner I. Versuchsreihe [illegible]

Zuverlässigkeit der Versuche. 79,13 % der Asche befinden sich in den Raupen, und nur ein kleiner Theil — 1/5 — blieb im Bebrütungsrückstande zurück. Wenn sämmtliche Raupen ausgekrochen wären und nicht nur 89,9 %, so hätten sich 88,05 % der Asche in den Raupen gefunden.

b) Energieumsatz im Ei (Entwicklungsarbeit).

Nach der S. 502 aufgestellten Bilanz enthalten 33,00 g Eier:

vor der Bebrütung 71,40 Cal.
nach „ „ 54,17 „

Die verbrauchte Energiemenge beträgt also 17,23 Cal., d. h. während der Bebrütung wurden 24,13 % der Energiemenge der unbebrüteten Eier verbraucht.

Die Energiemenge wurde während der Entwicklung von 42 220 Raupen verbraucht, zur Entwicklung je einer Raupe sind also 0,408 cal. nöthig, d. h. die Entwicklungsarbeit eines Seidenspinners beträgt: 0,408 cal. = 0,174 mkg.

Die in der ersten Versuchsreihe aus dem Energievorrathe der Eier verschwundenen 17,23 cal. chemischer Energie wurden während der Entwicklung von 19,5 g Raupen verbraucht.

Von der verbrauchten Energie kommen also auf 1 g Raupe 882 cal. — „relative Entwicklungsarbeit" —; beim Aufbau von 1 g embryonaler Trockensubstanz werden 3125 cal. Energie — „specifische Entwicklungsarbeit" — umgewandelt.

Bekanntlich bezeichnet Tangl jene Energiemenge, die bei der Entwicklung von 1 g Embryo verbraucht wird, als „relative Entwicklungsarbeit" und als „specifische Entwicklungsarbeit" die bei der Entwicklung von 1 g embryonaler Trockensubstanz verbrauchte Energiemenge.

Wie aus obigen Angaben ersichtlich, sind meine Werthe mit den von Tangl (1) für Hühnerembryonen angegebenen sozusagen identisch. In seinen Versuchen war die relative Entwicklungsarbeit bei Hühnern 658 cal., die specifische 3426 cal.

Diese Uebereinstimmung ist, abgesehen von dem ungeheuer grossen Gewichtsunterschied der Embryonen[1]) und der Zeitdauer der

1) Ein mittelgrosses Hühnerei wiegt 50 g, das ausschlüpfende Hühnchen ca. 30 g. Das Hühnerei ist demnach 70,000 Mal schwerer als das Seidenspinnerei und die Hühnchen 50,000 Mal schwerer als die Seidenraupe.

Entwicklung, um so auffallender, als die Art der embryonalen Entwicklung beider grundverschieden ist.

Wir können nun die Entwicklungsarbeit mit dem Energieumsatz der gefütterten Raupen während ihrer postembryonalen Lebensperioden vergleichen, wozu sich die bereits mehrfach erwähnten schönen Versuche Kellner's sehr gut eignen, da sich für dieselben aus dem Stoffwechsel der Energieumsatz mit einer für meine Zwecke genügenden Genauigkeit berechnen lässt. Kellner (2) gibt nämlich für die einzelnen Perioden genau an, wieviel Proteïne, Fett und N-freie Extractstoffe sich am Stoffumsatz betheiligten (siehe das Capitel vom Stoffverbrauch).

Wenn man den physiologischen Nutzeffect von 1 g Proteïn mit 4,04 Cal.[1]), von 1 g Fett mit 9,3 Cal. und von 1 g N-freier Extractstoffe = Kohlenhydrate, mit 4,2 Cal. in Rechnung setzt, so war nach K.'s Versuchen zum Erzeugen von je 1 g Körpertrockensubstanz erforderlich:

In der	I.	II.	III.	IV.	V.	Periode
Proteïn	2,45	2,19	2,83	0,76	0,35	Cal.
Fett	2,85	3,48	2,65	2,34	—	„
N-freier Extractstoffe	6,19	6,36	7,28	5,45	1,65	„
Zusammen	11,49	12,03	12,76	8,54	2,00	Cal.

Somit setzte der Seidenspinner in den ersten vier Perioden relativ viel mehr von der chemischen Energie um als während der embryonalen Entwicklung. Nur in der V. Periode, in welcher die Raupen bedeutende Nährstoffvorräthe in sich anhäufen, sinkt diese Zahl unter den Werth der embryonalen specifischen Entwicklungsarbeit.

Die zur embryonalen Entwicklung von 19,54 g Raupen nothwendigen 17,23 Cal. Energie werden von den verbrauchten 2,03 g Trockensubstanz geliefert. Auf 1 g dieser Trockensubstanz fallen also 8,51 Cal.

Der Energiegehalt der bei der embryonalen Entwicklung des Seidenspinners verbrauchten Stoffe ist daher ein beträchtlicher. Tangl gibt für die im bebrüteten Hühnerei oxydirten Stoffe 9—10 Cal. pro 1 g an. Dieser höhere Werth spricht dafür, dass wahrscheinlich ein grösserer Theil der verbrauchten Stoffe Fett ist als bei den Seidenspinnerembryonen. Für die Möglichkeit dieser

1) Energiegehalt von 1 g Proteïn = 5,4 Cal. und der von 1 g Harnsäure = 2750 cal.

Voraussetzung spricht auch jener Umstand, dass den Hühnerembryonen viel mehr Fett zur Verfügung steht als den Seidenspinnerembryonen, denn die Trockensubstanz des Hühnereiinhaltes enthält 40—45% Fett, die des Seidenspinnereiinhaltes[1]) aber nur 30—32%.

Mit der Annahme, dass die während der Entwicklung verbrauchte Energiemenge aus Stoffen mit grosser Verbrennungswärme hervorgeht, stimmt auch der Befund überein, dass der specifische Energiegehalt der nach der Bebrütung zurückbleibenden Stoffe viel geringer ist als jener der unbebrüteten Eier. Auf 1 g Trockensubstanz der unbebrüteten Eier fallen nämlich 6,1 Cal.; derselbe Werth der Trockensubstanz beträgt bei dem Raupen-Bebrütungsrückstande aber nur 5,6 Cal.

Will man die Stoffe, welche während der Bebrütung verbraucht wurden, in Fett und „Nicht-Fett" trennen, so kommen von den bei 19,54 g Raupen verbrauchten 17,23 Cal. Energie 10,93 = 63,4% auf Fett und 6,3 Cal. = 36,6% auf „Nicht-Fett". Es wurden nämlich, wie S. 502 angegeben ist, 1,17 g Fett verbraucht. 1 g Fett der Seidenspinnereier enthält 9,34 Cal. (S. 498), also 1,17 g 10,93 Cal. Der Energiegehalt von 1 g „Nicht-Fett" ist 7,31 Cal.

Es wurden also annähernd ²/₃ der Entwicklungsarbeit von Fett geliefert und ¹/₃ von „Nicht-Fett".

In Versuchen von Tichomiroff nahmen ausser dem Fett auch die Proteïne und das Glykogen bedeutend ab. Diese Stoffe bilden also den grössten Theil des „Nicht-Fettes". Der Energiegehalt des Glykogens ist 4,19 Cal.; demnach steht diese Zahl weit unter dem von mir für den Energiegehalt von 1 g „Nicht-Fett" gefundenen Werth (7,31 Cal.). Es müssen daher auch andere Stoffe von grösserem Energiegehalt gleichzeitig verbrennen.

Wenn im thierischen Organismus Proteïne verbrennen, so fallen auf je 1 g N-freien, zu CO_2 und H_2O verbrennenden Theil desselben, wie es Rubner (16) beim Hunde fand, 7,9 Cal.

Die Verbrennungswärme der thierischen Proteïne steht zwischen 5,2—5,6 Cal. Bezüglich der N-haltigen Zersetzungsproducte muss man nach Kellner's Versuchen — wie ich es bereits erwähnte — annehmen, dass diese ausschliesslich Harnsäure sind[2]). Nach dieser

1) Siehe Anmerkung 2) S. 512.

2) Nach Kellner ist bei den gefütterten Raupen während ihres postembryonalen Lebens das einzige Product der regressiven Metamorphose der Proteïne

Voraussetzung fallen bei der Oxydation der Proteïne auf je 1 g des N-freien zu CO_2 und H_2O verbrennenden Theiles 7,6—8,5 Cal. Bezüglich des Energiegehaltes steht also das „Nicht-Fett“ unseres Versuches zwischen dem Glykogen und dem zu CO_2 und H_2O verbrennenden N-freien Theil der Proteïne, und zwar steht es viel näher zu letzterem.

Es ist desshalb wahrscheinlich, dass an der Entwicklungsarbeit neben dem Fett die Proteïne den grössten Antheil haben. Diese Annahme stimmt auch mit den Ergebnissen von Tichomiroff überein.

Ich möchte vor der Hand nicht über diese wahrscheinliche Annahme hinausgehen und mich nicht in eine weitere Erörterung der Einzelheiten des Energieumsatzes einlassen. Dazu kennen wir doch die feineren Momente und die complicirten Details der einzelnen chemischen Vorgänge im thierischen Organismus noch viel zu wenig und können auch durch den Vergleich von Aufangs- und Endzuständen über diese keinen Aufschluss erhalten.

Zum leichteren Ueberblick habe ich die wichtigeren Ergebnisse der ersten Versuchsreihe in Tabelle XI zusammengestellt.

Tabelle XI.

Es wurden verbraucht während der Entwicklung von	Trocken-substanz mg	Energie cal.	Fett		„Nicht-Fett“	
			Gewicht mg	darin Energie cal.	Gewicht mg	darin Energie cal.
1 g Raupe	103,6	882	59,9	559	43,7	323
1 g Raupentrockensubstanz	367,3	3125	212,1	1982	155,2	1143
je einer Raupe	0,048	0,41	0,028	0,26	0,020	0,15

c) Stoff- und Energieumsatz der nüchternen Raupen unmittelbar nach ihrem Ausschlüpfen.

Die II. Versuchsreihe habe ich — wie es in Capitel III, 2 schon erwähnt wurde — so eingerichtet, dass der Stoff- und Energieverbrauch der nüchternen Raupen sofort nach ihrem Ausschlüpfen ermittelt werden konnte. Die ausgekrochenen und dann zu Tode gehungerten Raupen haben nämlich noch einen grossen Theil jenes

die Harnsäure; aber ebenso enthält auch das Excret der stets nüchternen Schmetterlinge sehr viel Harnsäure, die also — ebenso wie in unserem Falle die Seidenraupen — nur ihre Körperproteïne verbrennen.

Stoff- und Energievorrathes der Eier, welcher nach der embryonalen Entwicklung noch übrig blieb, verzehrt.

Der Stoff- und Energieverbrauch des embryonalen Lebens ist aus der I. Versuchsreihe bekannt; wenn man also aus dem Verbrauch der II. Versuchsreihe die entsprechenden Werthe der I. Versuchsreihe abzieht, so entspricht die Differenz der Stoff- und Energiemenge, die während des Hungerns verbraucht, resp. umgesetzt wurden.

In der II. Versuchsreihe schlüpften 55 800 Stück Raupen aus, deren Gewicht 28,13 g betrug. Aus dem Gewicht der Raupen, dann aus der in der II. Versuchsreihe verbrauchten Stoff- und Energiemenge (siehe Tabelle X) kann man den auf 1 g, eben ausschlüpfender Raupen fallenden Stoff- und Energieverbrauch während der Entwicklung und des Hungerns nach dem Ausschlüpfen berechnen. Diese Werthe und auch jene Werthe der Versuchsreihe I, die zur eben erwähnten Berechnung des Hungerstoff- und -Energieumsatzes nöthig sind, findet man in Tabelle XII und XIII.

Tabelle XII.

Es wurden verbraucht	Trockensubstanz	Fett	Energie	C	Anmerkung
	in Procenten auf die unbebrüteten Eier bezogen				
Während der embr. Entwicklung + nachfolgender Hungerperiode (Versuchsreihe II)	30,40	79,77	40,23	37,30	Raupen krochen aus 89,3 % der Eier aus.
Während der embr. Entwicklung (Versuchsreihe I) . . .	17,32	48,24	24,13	—	Raupen krochen aus 89,9 % der Eier aus.
Also während des Hungers nach d. Ausschlüpfen	**13,08**	**31,53**	**16,10**	—	—

Da nach Versuch I	Trockensubstanz	Fett	Energie
1 g ausschlüpfende Raupen enthalten	0,282 g	0,053 g	1632 Cal.
so wurden während des Hungerns davon	26,6 %	86,6 %	32,4 % verbr.

Tabelle XIII.

Vom Stoff- und Energieverbrauch entfallen auf je 1 g ausschlüpfende Raupen	Trockensubstanz g	Fett g	„Nicht-Fett" g	Energie Cal.
Für die Entwicklungsperiode u. Hungerperiode (Versuchsreihe II)	0,1786	0,1060	0,0726	1,410
Für die Entwicklungsperiode im Ei (Versuchsreihe I)	0,1036	0,0599	0,0437	0,882
Für die Hungerperiode	**0,0750**	**0,0461**	**0,0289**	**0,528**

Die in Tabelle XII angeführten Werthe beziehen sich, wie gesagt, auf 1 g eben ausschlüpfender Raupen. Da aber das Gewicht während des Hungerns abnimmt, so zeigen diese natürlich nicht den Stoff- und Energieverbrauch von 1 g nüchterner Raupen. Diese erhält man, wenn man den Stoff- und Energieverbrauch während des Hungerns auf einen Tag und auf das mittlere Körpergewicht der hungernden Raupen bezieht. Das beim Ausschlüpfen 0,504 mg betragende Gewicht der Raupen sank während des dreitägigen Hungerns durchschnittlich auf 0,448 mg, somit ist das mittlere Gewicht von 1 g eben ausschlüpfender Raupen während des Hungerns 0,8895 g. Daraus berechnen sich folgende Werthe:

1 g Raupen verbrauchten in 24 Stunden:

Trockensubstanz .	28,09	mg
Fett	17,17	„
„Nicht-Fett" . .	10,82	„
Energie	197,6	Cal.

Aus Kellner's Versuchen kann man in ähnlicher Weise den Stoff- und Energieverbrauch der bei ähnlicher Temperatur gehaltenen intensiv ernährten Raupen ausrechnen.

(Siehe Tabelle XIV auf S. 524.)

Meine nüchternen Raupen stehen in der Körpergrösse den Kellner'schen Raupen der Periode I am nächsten, welche nur ungefähr zehnmal schwerer sind als die meinigen. Der Energiebedarf dieser Raupen der I. Periode übertrifft 2,27 Mal jenen der nüchternen Raupen. Dieses Plus entspricht jener Energiemenge, welche die intensive Bewegung, weiter die Arbeit der Nahrungsaufnahme, Verdauung u. s. w. erfordert.

Der gesammte Stoffwechsel während der embryonalen Entwicklung und des nachfolgenden Hungerns der Raupen ergibt, dass der

Tabelle XIV.

	Unmittelbar nach dem Ausschlüpfen	Periode I	Periode II	Periode III	Periode IV	Periode V	Anmerkung
1000 Stück Raupen wiegen	0,414 g	4,734 g	25,57 g	114,05 g	514,17 g	2220,99 g	Am Ende der Perioden nach beendeter Häutung.
Trockensubstanzgehalt von 1000 Stück Raupen	0,098 „	0,752 „	3,662 „	14,92 „	62,69 „	436,85 „	
1000 Stück Raupen verdauten an Trockensubstanz	—	2,21 „	10,08 „	42,10 „	125,39 „	591,44 „	
Von der verdauten Trockensubstanz wurde im Organismus zersetzt	—	1,56 „	7,17 „	30,85 „	77,61 „	217,28 „	
Dauer der Periode (incl. Häutung)	—	175 h	159 h	150 h	165 h	193 h	
Durchschnittliches Körpergewicht von 1000 Stück Raupen	—	2,574 g	15,15 g	69,81 g	314,11 g	1367,58 g	Durchschn. Gewicht = (Anfangsgewicht + Endgewicht)/2.
Es fallen also auf 1 g Raupen pro Tag verbrauchte Trockensubstanz	—	83,11 mg	71,44 mg	70,71 mg	35,94 mg	19,76 mg	
Energiegehalt von 1 g oxydirter Trockensubstanz	—	5,41 Cal.	5,38 Cal.	5,28 Cal.	5,10 Cal.	4,48 Cal.	
Durch 1 g Raupen in 24 Stunden umgesetzte Energiemenge	—	449,4 cal.	384,2 cal.	373,4 cal.	183,1 cal.	88,44 cal.	

grössere Theil, d. h. 59,4 % der verbrauchten Substanz aus Fett besteht. Da der Energiegehalt des Fettes gross ist, fällt von der verbrauchten chemischen Energie natürlich ein relativ noch grösserer Theil — 70,2 % — auf Fett. Aus Tabelle XIII ist ersichtlich, dass die Raupen während des dreitägigen Hungerns etwa $^3/_4$ jener Trockensubstanzmenge verbrauchten, die während der embryonalen Entwicklung verschwindet. Etwa $^8/_5$ der verbrauchten Trockensubstanz waren Fett, dagegen war in der embryonalen Entwicklung bloss die Hälfte der verbrauchten Substanz Fett.

Die I. Versuchsreihe ergab, dass die ausschlüpfenden Raupen relativ ziemlich viel Fett (5,32 %, S. 501) enthalten; diese Fettmenge wird während des Hungerns fast vollständig oxydirt (siehe der Tabelle XIII nachfolgende Zusammenstellung), nur etwa 14 % desselben sind noch in den Hungers gestorbenen Raupen aufzufinden. Dies stimmt übrigens mit der bekannten Thatsache überein, dass im Hunger, soweit Fett dem Organismus zur Verfügung steht, hauptsächlich dieses verbraucht wird; ausserdem hat Babák (15) neuerdings bei neugeborenen Menschen und Kaninchen constatirt, dass, so lange keine Nahrung aufgenommen wird, vor Allem Fett verbraucht wird.

Berechnet man aus der verbrauchten Trockensubstanz und chemischen Energie den specifischen Energiegehalt der verbrauchten Trockensubstanz in der II. Versuchsreihe — also während der embryonalen Entwicklung und des Hungerns —, so ist dieser, wenn auch geringer wie in Versuchsreihe I (8,5 Cal.), noch immer ziemlich hoch; es fällt nämlich auf 1 g verbrauchter Trockensubstanz 7,9 Cal. Energie.

Es ergibt sich also auch nach dieser Berechnung, dass Substanzen hohen Energiegehaltes verbrannten, was übrigens auch darin eine Bestätigung findet, dass der specifische Energiegehalt der nach dem Hungern zurückgebliebenen Trockensubstanz (verstorbene Raupen + Bebrütungsrückstand) kleiner ist als in den unbebrüteten Eiern; letzterer beträgt 5,7 Cal., ersterer 5,1 Cal.

Den Energieverbrauch in der II. Versuchsreihe (siehe Tabelle X) kann man nun in folgender Weise mit dem verbrauchten Fett und „Nicht-Fett“ in Beziehung bringen.

Verbraucht wurden 5,02 g Trockensubstanz mit	39,7 Cal. Energie,	
davon waren . . . 2,98 „ Fett mit	27,9 „ „ [1]),	
also fallen auf 2,04 g „Nicht-Fett"	11,8 Cal. Energie.	

Mithin entsprechen 1 g „Nicht-Fett" 5,8 Cal. Energie.

Nach dem S. 521 Gesagten entfallen auf den während der embryonalen Entwicklung zu CO_2 und H_2O verbrennenden Theil der Eiweisskörper pro Gramm 7,6—8,5 Cal.; da in der II. Versuchsreihe ein Theil des Stoffwechsels in die Zeit der embryonalen Entwicklung fällt und der specifische Energiegehalt des „Nicht-Fettes" bloss 5,8 Cal. beträgt, so folgt daraus, dass am Stoffwechsel während des Hungerns Substanzen mit bedeutend geringerem Energiegehalt theilgenommen haben Das erhellt auch aus folgender Berechnung, die mit Benützung der Daten aus Tabelle XIII angestellt werden kann. Während des Hungerns wurden verbraucht durch 1 g ausschlüpfende Raupen:

Trockensubstanz	0,075 g	mit 528	cal. Energie,
davon waren: Fett	0,046 „	„ 431	„ „ [1])
„Nicht-Fett"	0,029 „	„ 97	„ „

d. h. auf 1 g „Nicht-Fett" entfallen bloss 3,4 Cal. Energie. Diesen höchst auffallend niedrigen Wert kann ich vor der Hand nicht erklären, was auch so lange kaum möglich sein dürfte, bis die näheren Details der Stoffwechselvorgänge in der hungernden Raupe — bei welchem sicherlich auch synthetische Processe eine Rolle spielen — bekannt sind. Möglicher Weise sind theilweise auch Fehler, welche durch die nicht ganz identische Beschaffenheit des Versuchsmaterials der I. und II. Versuchsreihe bedingt sind, daran betheiligt.

Immerhin sei noch erwähnt, dass, wenn man für die Trockensubstanz der verhungernden Raupen + deren Excremente — aus Tabelle XIII und aus der dieser Tabelle folgenden Zusammenstellung — den specifischen Energiegehalt berechnet, so erhält man für 1 g „Nicht-Fett" desselben 5,3 Cal., eine Zahl, deren Werth mit Rücksicht auf die wahrscheinliche Zusammensetzung der erwähnten Trockensubstanz annehmbar erscheint, was wiederum dafür sprechen würde, dass die eben erwähnten Fehler wenigstens nicht sehr bedeutend waren.

---

1) 1 g Fett = 9,3 Cal. Energie.

So viel glaube ich aber aus dem Gesagten und — wie weiter unten ersichtlich — aus dem C-Umsatz mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit folgern zu können, dass während des Hungerns ausser Fett Substanzen mit niedrigerem Energiegehalt als Eiweiss am Stoffwechsel betheiligt sind.

Wenn ich auch den N- und C-Umsatz in der Versuchsreihe II bestimmte, so möchte ich gleich hier erwähnen, dass ich eben durch die eigenthümliche Versuchsanordnung keinen tieferen Einblick in die Stoffwechselvorgänge erhalten konnte; diess bezieht sich hauptsächlich auf den N-Umsatz. Die N-Bilanz ergab ein Deficit von 0,27 g. S. 511 habe ich auch erörtert, dass dieses Deficit auf die Zersetzung der Harnsäure in den Extremitäten zurückzuführen ist. Hier möchte ich nur noch ergänzend bemerken, dass dieses Deficit ganz sicher kein Versuchsfehler ist. Dies kann ich bestimmt mit Tabelle X und mit dem C-Umsatz beweisen, aus welchen hervorgeht, dass ich die gesammte Menge der am Anfang des Versuches vorhandenen Asche und C am Schluss des Versuches vollständig wiederfand.

C-Umsatz. Während die I. Versuchsreihe in Folge der nothwendigen Anordnung nur ein unvollständiges Bild von der CO_2-Production geben konnte, da dieselbe bloss in einer nicht scharf begrenzten Periode der embryonalen Entwicklung bestimmt wurde (siehe Cap. III, 1), und so die Ergebnisse bloss zu der Folgerung berechtigten, dass die CO_2-Production mit der fortschreitenden Entwicklung des Embryo wächst, konnte in der Versuchsreihe II der C-Umsatz viel eingehender und umfassender festgestellt werden. Wie auf S. 506 genau beschrieben wurde, habe ich die gesammte CO_2-Production während der embryonalen Entwicklung und während der Hungerperiode nach dem Ausschlüpfen der Raupen bestimmt, ausserdem den C-Gehalt der Eier und in den Raupen + Bebrütungsrückstand auch ermittelt.

Während des ganzen Versuches wurden 13,09 g CO_2 producirt (siehe Tabelle VI). Die unbebrüteten Eier lieferten andererseits bei der Verbrennung 32,45 g CO_2, die Raupen + Bebrütungsrückstand gaben (S. 505 u. 510) 19,28 g, die Differenz zwischen beiden ist also 13,17 g, d. h. genau so viel, als wir im Respirationsversuch CO_2 gefunden haben. Die Uebereinstimmung dieser beiden Werthe ist ein überzeugender Beweis dafür, dass während der embryonalen Entwicklung und des Hungerns der Raupen ausser CO_2

kein anderes C-haltiges, gasförmiges Zersetzungsproduct den Organismus verlässt.

Der Mittelwerth von 13,09 g und 13,17 g ist = 13,13 g. Zieht man von dieser CO_2-Menge 1,07 g, als von der Zersetzung der Harnsäure herrührend (S. 511), ab, so erhalten wir 12,06 g CO_2, welche die Eier und Raupen exspirirten. In 12,06 g CO_2 sind 3,289 g C enthalten, die in der in Versuchsreihe II verbrauchten Trockensubstanz — 5,024 g — enthalten sind. Der C-Gehalt der letzteren beträgt also 65,47 %. Wie bereits S. 520 erwähnt, kann man die verbrauchte Substanz in Fett und „Nicht-Fett" zerlegen, und da wir die Menge des verbrauchten Fettes — durch Analyse — direct bestimmt haben, können wir auch den C-Gehalt des „Nicht-Fettes" berechnen. Wenn wir für das Fett einen durchschnittlichen C-Gehalt von 76,5 % annehmen (das Fett des Hühnereies enthält nach Liebermann 73,69 %), entsprechen dem verbrauchten 2,96 g Fett, demnach 2,28 g C, während auf 2,04 g „Nicht-Fett" nur 1,01 g C fallen, d. h. der C-Gehalt des „Nicht-Fettes" ist 49,4 %.

Wenn im Organismus Proteïne oxydirt werden, so ist der C-Gehalt des zu CO_2 und H_2O verbrennenden Antheiles derselben viel grösser. Wenn z. B. der N-haltige Teil des Eiweisses zu Harnsäure oxydirt wird, so ist der C-Gehalt des N-freien oxydirten Antheils 67,95 %[1]).

Der niedrige C-Gehalt (49 %) des in Versuchsreihe II verbrauchten „Nicht-Fettes" steht von den in Betracht kommenden Substanzen am nächsten zu dem des Glykogens, welcher 44,49 % beträgt. Auch der für das „Nicht-Fett" berechnete Energiegehalt nähert sich, wie wir oben sahen, dem Energiegehalt des Glykogens.

Aus alledem können wir mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einen **Unterschied im Stoffwechsel während der Entwicklung im Ei einerseits und der hungernden Raupen andererseits folgern. Während nämlich im bebrüteten Ei neben dem Fett hauptsächlich Eiweisskörper sich am Stoffwechsel betheiligten, hat in den ausgeschlüpften hungernden Raupen ausser Fett und Eiweiss noch eine**

---

1) Ich nahm den C-Gehalt von Eiweiss mit 52 % an. 100 g Eiweiss können 49,5 g Harnsäure liefern, die 17,68 g C enthält. Man kann also in dem zu CO_2 und H_2O verbrennenden 50,5 g betragenden N-freien Antheil des Eiweisses 34,32 g C = 67,95 % finden.

weniger Energie- und C-haltige Substanz (wahrscheinlich Glykogen) den Energiebedarf gedeckt.

IV. Energieumsatz während der Metamorphose der spinnreifen Raupe zum Schmetterling und während der Geschlechtsfunction derselben.

Die ausschlüpfende Seidenraupe besitzt nur sogen. Larvenorgane, unter Anderen auch einen gut entwickelten Ernährungscanal, welcher sie befähigt, in ihrem Körper einen relativ riesenhaften Reservenährstoffvorrath anzuhäufen. Ist die Seidenraupe am Ende ihres Wachsthums angelangt, so spinnt sie sich ein, wird bald nachher zur Puppe, und in diesem Stadium durchläuft sie eine tiefgreifende Metamorphose[1]), deren Ergebniss die geschlechtsreife Form — Imago — ist.

Die Metamorphose trennt auf diese Weise zwei Lebensabschnitte; für den ersten — für das Raupenstadium — sind die Selbsterhaltung bezweckende Functionen, besonders die Ernährung, charakteristisch, für den zweiten — für das Schmetterlingsstadium — die Geschlechtsfunction.

Die Perioden der Metamorphosen und des geschlechtlichen Lebens stimmen in einem wesentlichen Punkte mit der embryonalen Entwicklung überein: in beiden Lebensabschnitten werden aus der Aussenwelt gar keine energiehaltigen Stoffe — Nährstoffe — aufgenommen, das Leben wird ausschliesslich durch die Umwandlungen der chemische Energie enthaltenden Stoffe des Organismus erhalten. Dieser Umstand ermöglicht es auch, dass wir auch für das Stadium der Raupen- und Puppenmetamorphose den Energieverbrauch in ähnlicher Weise ermitteln, wie für die Periode der embryonalen Entwicklung.

Dementsprechend habe ich den Trockensubstanz- und Energiegehalt der spinnreifen Raupen am Beginn der Einpuppung und unmittelbar nach beendigtem Einpuppen, dann des Schmetterlings unmittelbar nach dem Ausschlüpfen, nach der Paarung resp. nach der Eilegung bestimmt. Mit Berücksichtigung der bei dieser Metamorphose zurückbleibenden Ueberreste — und zwar Seide, Häutungs-

1) Im Puppenstadium entsteht eine fast ganz neue Organisation, indem, von den Malpighi'schen Gefässen abgesehen, alle Organe mehr oder weniger Veränderungen durchmachen, einzelne sich factisch neu bilden (17, S. 137—151).

producte, Excrete und abgelegte Eier — lässt sich aus diesen Daten der Stoff- und Energieumsatz während der ganzen Metamorphose ebenso berechnen, wie der Stoff- und Energieumsatz im Ei.

Zum Zwecke der Experimente wurden etwa 60 möglichst gleich grosse und gleich alte Raupen derselben Rasse nach der vierten Häutung ausgewählt. Die Raupen wurden beim Züchter, von dem ich sie bezog, mit keiner grossen Sorgfalt behandelt; dies ist wohl auch die Ursache, dass das Einspinnen der einzelnen Raupen nicht normaler Weise an einem Tage begann, sondern 4 Tage hindurch sich verzögerte, und dass das Körpergewicht der einzelnen Raupen verhältnissmässig grosse Differenzen aufweist.

Sobald das Einspinnen begann, beobachtete ich die Raupen beständig; jene, welche sich einzuspinnen begannen und überhaupt spinnreif schienen, trennte ich von den übrigen, wog sie und theilte sie dann in vier Gruppen.

Die Raupen der Gruppe I tödtete ich sofort nach der Wägung mit Aetherdämpfen und trocknete sie bei 65° C. Temperatur im Vacuumexsiccator.

Die Raupen der Gruppe II kamen einzeln in numerirte Glasschalen, wo sie sich einspannen. Nach 5 Tagen wog ich die Cocons sammt Inhalt, nachher wog ich die Puppe für sich und tödtete sie durch Trocknen im Vacuumtrockenschrank bei 65° C.

Aus den Cocons der Gruppe III schlüpften am Morgen des 17.—20. Tages die Schmetterlinge aus. Nach dem Ausschlüpfen wurden sie gewogen, mit Aetherdämpfen getödtet und dann getrocknet (im Vaccuum bei 65° C.).

Alle aus den Cocons der Gruppe IV ausgekrochenen Schmetterlinge legte ich in eine grössere gemeinschaftliche Porzellanschüssel, wo nach beendigter Copulation die Männchen wie gewöhnlich sofort, die Weibchen 1—2 Tage nach der Eierlegung starben. Die gestorbenen Schmetterlinge wurden getrocknet.

Das Zimmer, wo das Einspinnen, die Aufbewahrung der Cocons und die Paarung der Schmetterlinge erfolgte, hatte eine Temperatur zwischen 22—25° C.

Die besprochene Gruppirung der Raupen und die bezüglichen Einzelheiten zeigen übersichtlich Tabelle XV und XVI.

Tabelle XV.

Gruppe I			Gruppe II			Gruppe III			Gruppe IV		
Nummer der Raupe	Beginn der Einpuppung	Körpergewicht der Raupe g	Nummer der Raupe	Beginn der Einpuppung	Körpergewicht der Raupe g	Nummer der Raupe	Beginn der Einpuppung	Körpergewicht der Raupe g	Nummer der Raupe	Beginn der Einpuppung	Körpergewicht der Raupe g
	1902			1902			1902			1902	
1	24. Juni Nachm.	2,85	2	24. Juni Nachm.	2,95	3	24. Juni Nachm.	2,38	4	24. Juni Nachm.	3,67
5	24. „ Abends	2,64	6	24. „ Abends	3,06	7	25. „ Morgens	2,01	8	25. „ Morgens	2,07
9	25. „ Morgens	3,47	10	25. „ Nachm.	2,34	11	25. „ Abends	3,62	12	25. „ Abends	2,48
13	25. „ Abends	2,66	14	25. „ Abends	2,50	15	25. „ Abends	2,30	16	25. „ Abends	2,06
17	26. „ Morgens	3,47	18	26. „ Morgens	1,95	19	26. „ Vorm.	2,50	20	26. „ Vorm.	1,51
21	26. „ Vorm.	2,14	22	26. „ Vorm.	2,92	23	26. „ Vorm.	3,31	24	26. „ Vorm.	3,30
25	26. „ Vorm.	2,04	26	26. „ Vorm.	2,62	27	26. „ Vorm.	2,08	28	26. „ Vorm.	2,32
29	26. „ Nachm.	3,23	30	26. „ Vorm.	2,45	31	26. „ Vorm.	2,57	32	26. „ Vorm.	2,01
Zusammen		22,50	33	26. „ Vorm.	2,40	34	26. „ Nachm.	3,52	35	26. „ Nachm.	3,31
Durchschnittliches Gewicht einer Raupe . .		2,82	36	26. „ Abends	2,86	37	27. „ Morgens	3,40	38	27. „ Morgens	2,50
			Zusammen		26,05	39	27. „ Morgens	3,31	40	27. „ Morgens	3,79
			Durchschnittliches Gewicht einer Raupe . .		2,605	Zusammen		31,00	41	27. „ Vorm.	2,65
						Durchschnittliches Gewicht einer Raupe . .		2,818	42	27. „ Vorm.	2,72
									43	27. „ Nachm.	3,29
									Zusammen		37,68
									Durchschnittliches Gewicht einer Raupe .		2,691

Tabelle XVI.

Gruppe II					Gruppe III					Gruppe IV		
Nummer der Raupe	Die Puppe wurde getödtet am	Der Cocon sammt Inhalt wog g	Die Puppe wog g	Der leere Cocon wog g	Nummer der Raupe	Der Schmetterling schlüpfte aus am	Vom Beginn des Einpuppens bis zum Ausschlüpfen des Schmetterlings verflossen Tage	Gewicht des Schmetterlings g	Geschlecht des Schmetterlings	Nummer der Raupe	Der Schmetterling schlüpfte aus am	Vom Beginn des Einpuppens bis zum Ausschlüpfen des Schmetterlings verflossen Tage
2	29. Juni	1,62	—	—	3	12. Juli	$17\frac{1}{2}$	0,50	♂	4	13. Juli	$18\frac{1}{2}$
6	29. „	1,71	1,52	0,19	7	12. „	17	0,41	♂	8	10. „	15
10	30. „	1,20	1,03	0,17	11	14. „	$18\frac{1}{2}$	1,05	♀	12	12. „	$16\frac{1}{2}$
14	30. „	1,55	—	—	15	13. „	$17\frac{1}{2}$	0,71	♂	16	13. „	$17\frac{1}{2}$
18	1. Juli	1,11	0,96	0,15	19	15. „	19	0,49	♂	20	13. „	17
22	1. „	1,57	—	—	23	16. „	20	1,07	♀	24	15. „	19
26	1. „	1,60	1,42	0,18	27	15. „	19	0,44	♂	28	15. „	19
30	1. „	1,42	1,20	0,22	31	15. „	19	0,50	♂	32	[1])15. „	19
33	1. „	1,30	1,11	0,19	34	17. „	$20\frac{1}{2}$	1,50	♀	35	14. „	$17\frac{1}{2}$
36	1. „	1,50	1,28	0,22	37	17. „	20	1,06	♀	38	16. „	19
—	—	—	—	—	39	16. „	19	1,22	♀	40	17. „	20
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41	17. „	20
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42	17. „	20
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43	17. „	20

1) Der Schmetterling aus Raupe Nr. 32 schlüpfte Mittags 12 Uhr aus, alle übrigen Schmetterlinge der Gruppen III und IV Morgens zwischen 5—6 Uhr.

Wenn auch für alle Gruppen der Trockensubstanz- und Energiegehalt in derselben Weise, wie S. 494 angegeben, bestimmt wurde, muss ich doch einige Einzelheiten der bei diesen Versuchen befolgten Methodik anführen, theils weil sie von den bei den Eiern befolgten etwas abweichen, theils weil sie zur Beurtheilung der Verlässlichkeit der einzelnen Daten nothwendig sind, um so mehr, als auch das Material in den vier Gruppen nicht ganz gleich aufgearbeitet wurde.

Was vor Allem die Verbrennung betrifft, so verbrannte ich die spinnreifen Raupen und die Puppen ebenso wie die Eier in der Versuchsreihe I und II; die Cocons wurden für sich zu Pastillen gepresst; die Schmetterlinge und die Abfallstoffe (Excremente, abgeworfene Häute) wurden mit Filtrierpapier verbrannt, ebenso wie die Eischalen (siehe S. 494).

Bei Gruppe I wurde jede Raupe einzeln verarbeitet.

Bei Gruppe II habe ich bei den Raupen Nr. 2, 14 und 22 die einzelnen Cocons sammt Inhalt (Puppe + abgeworfene Haut) und Excrementen zur Analyse genommen, bei den übrigen Raupen wurde Trockensubstanz- und Energiegehalt für die Puppe (leere Cocons + abgeworfene Haut + beim Einspinnen entleerten Koth) besonders bestimmt. Die Puppe der Raupe Nr. 6 wurde für sich allein, die übrigen Puppen zu zweien verbrannt. Die leeren Cocons einerseits, andererseits Koth und abgeworfene Häute der Raupen (mit Ausnahme der Raupen Nr. 2, 14 und 22) dieser Gruppe vereinigte ich und verbrannte sie gemeinschaftlich.

Bei Gruppe III konnte ich die Trockensubstanz für jeden einzelnen Schmetterling, und von ihm getrennt für die zu ihm gehörenden Cocons + Koth + abgeworfene Haut besonders bestimmen, während der Energiegehalt durch Verbrennung von je zwei Weibchen resp. Männchen bestimmt wurde. Energiegehalt von den leeren Cocons + Koth + abgeworfenen Häuten wurde gemeinschaftlich bestimmt.

Bei Gruppe IV wurde Trockensubstanz- und Energiegehalt bestimmt: für die 7 weiblichen, für die 7 männlichen Schmetterlinge, für die 14 leeren Cocons, für die von den 7 weiblichen Schmetterlingen gelegten Eier und für die vereinigten Excremente der 14 Schmetterlinge. Da die ausgeschlüpften Schmetterlinge nicht bezeichnet wurden, konnte ich sie nicht einzeln verarbeiten und musste mich mit der Trennung der weiblichen von den männlichen begnügen.

Die Ergebnisse der Versuche sind in den folgenden Tabellen XVII, XVIII, XIX und XX zusammengestellt.

Tabelle XVII.

Nummer der Raupe	Gewicht der Raupe g	Trockensubstanzgehalt der Raupe		Energiegehalt		
		g	%	der Raupe cal.	von 1 g Raupe	von 1 g Trockensubstanz cal.
1	2,85	0,5653	19,84	3063	1086	5471
5	2,64	0,5410	20,49	3015	1142	5560
9	3,47	0,7111	21,46	3843	1108	5404
13	2,66	0,5697	21,41	3182	1196	5585
17	3,47	0,7085	21,38	3772	1087	5448
21	2,14	0,4752	22,20	2777	1298	5844
25	2.04	0,4182	20,50	2366	1160	5657
29	3,23	0.7089	21,94	3832	1186	5405
Mittel:	2,812	0,5872	20,88	3235	1150,2	5509

Tabelle XVIII.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nummer der Raupe	Gesammtgewicht des Cocons + Inhalt	Gewicht der Puppe	Trockensubstanzgehalt				Energiegehalt		
			der Puppe g	der Puppe %	des leeren Cocons + Excremente + abgeworf. Haut g	der Puppe + Cocons (4 + 6) g	der Puppe cal.	der Seide cal.	der Excremente + abgeworf. Haut cal.
2	1,62	—	—	—	—	0,5364	2926		
14	1,55	—	—	—	—	0,4590	2456		
22	1,57	—	—	—	—	0,5330	2881		
6	1,61	1,52	0,3450	22,69	0,2065	0,5515	2033		
10	1 20	1,03	0,2299	22,32	0,1729	0,4028	2768		
18	1,11	0,96	0,2291	23,86	0,1398	0,3689			
26	1,60	1,42	0,3037	21,39	0,1769	0,4806	3332	6038	342
30	1,42	1,20	0,2583	21,52	0,2240	0,4832			
33	1.30	1,11	0,2471	22,26	0,2016	0,4487	3212		
36	1,50	1,28	0,2472	21,47	0,2470[1]	0,5212			
Zusammen						4,7844	25988		

Ueber den Stoffumsatz der Seidenraupe während ihrer Metamorphose stehen uns mehrere Untersuchungen zur Verfügung. Hier hebe ich besonders die Untersuchungen Kellner's hervor.

1) Die Summe dieser Columne (6) beträgt 1,369 g; von diesen Trockensubstanzmengen fallen 1,243 g auf Seide, auf Koth + abgeworfene Haut 0,134 g.

Tabelle XIX.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nummer der Raupe	Gewicht der Raupe g	Gewicht des Schmetterlings g	Trockensubstanzgehalt				Energiegehalt	
			des Schmetterlings g	des Schmetterlings %	des leeren Cocons + Koth + abgeworfene Haut g	Gesammttrockensubstanz (4 + 6) g	des Schmetterlings cal.	der leeren Cocons + Excremente + abgeworf. Häute cal.
			Weibliche Schmetterlinge:					
11	3,62	1,05	0,2663	25,[illegible]6	0,3787	0,6450	7618	13089
23	3,31	1,07	0,2631	24,59	0.3008	0,5639		
34	3,52	1,50	0,2787	18,16	0,3418	0,6205		
37	3,40	1,06	0,2288	21,59	0,2570	0,4858		
39	3,31	1,22	0,2379	19,50	0,2934	0,5313		
Mittel:	3,43	1,18	0,2549	21,00	0,3148	0,5692	1523	
			Männliche Schmetterlinge:					
3	2,38	0,50	0,1481	29,62	0,2501	0,3982	5910	
7	2,01	0,41	0,1309	31,93	0,2019	0,3328		
15	2,30	0,71	0,1624	22,87	0,2129	0,3753		
19	2,50	0,49	0,1629	33,25	0.2471	0,4100		
27	2,08	0,44	0,1436	32,64	0,2202	0,3638		
31	2,57	0,50	0,1740	34,80	0,2407	0,4147		
Mittel:	2,31	0,51	0,1536	30,23	0,2288	0,3824	985	
Zus.: (♂ + ♀)	31,00	—	—	—	—	5,1413	26617	

Tabelle XX.

	Trockensubstanzgehalt g	Energiegehalt cal.	Energiegehalt von 1 g Trockensubstanz cal.	Anmerkung
7 weibliche Schmetterlinge	0,7080	3778	5336	
7 männliche Schmetterlinge	0,5497	2883	5244	
14 leere Cocon	3,0480	14690	4820	
Eier der 7 weiblichen Schmetterlinge.	0,7178	4361	6101	Die 7 Schmetterlinge legten zusammen 2670 Eier, die bei 37,7% Trockensubstanzgehalt 1,905 g wogen.
Excremente d. 14 Schmetterlinge	0,4410	1351	3064	
Zusammen	5,4645	27063	4952	

Kellner (2, S. 78) verglich in seinen schon oft erwähnten Versuchen die Zusammensetzung von 1000 spinnreifen Raupen mit 1000 Puppen (+ leere Cocons), und diese mit 1000 Schmetterlingen derselben Zucht (siehe Tabelle XXI).

Tabelle XXI.

	Gesammtgewicht g	Wasser g	Trockensubstanz g	Organische Stoffe g	Fett g	N-freie Extractstoffe g	Anmerkung
1000 Raupen am Ende der V. Periode (spinnreife Raupen)	2220,99	1784,14[1]	436,85	410,38	71,23	59,85	Ende der V. Periode am 3. Juni, an welchem Tage das Einspinnen (VI. Periode) begann.
1000 Puppen	1030,00	812,59	217,41	205,20	61,24	14,15	Am 12. Juni, am Ende d. VI. Periode, resp. am Anfange d. VII. Periode
1000 Puppen + Cocon	1170,00	830,09	339,91	326,26	61,25	14,15	(ditto)
Verlust während der VI. Periode (1000 Raupen — 1000 Puppen + Cocon)	1050,99	954,05[1]	96,94	84,12	9,98	45,70	Zeitdauer d. VI. Periode (v. 3.—12. Juni) 9 Tage.
1000 Schmetterlinge	503,56	361,39	142,17	136,57	45,51	0,14	Am 21. u. 22. Juni.
Verlust während der VII. Periode (gegenüber den Bestandtheilen d. Puppe)	666,44	468,70	75,24	68,88	15,74	14,01	Zeitdauer d. VII. Periode (vom 12.—21. resp. 22. Juni) 9—10 Tage.

1) Kellner gibt irrthümlicher Weise 1846,8 g resp. 1016,7 g an.

Seine näheren diesbezüglichen Angaben sind die folgenden:

„Das Lebendgewicht der spinnreifen Raupen verhält sich zu den Puppen incl. Cocon wie 1 : 0,52, das Trockengewicht wie 1 : 0,74. Während der Verpuppung sank also das Körpergewicht der lebenden Thiere auf nahezu die Hälfte, von der Trockensubstanz wurde hierbei ein Viertel durch Athmung resp. hydrolytische Processe zerstört."

„Die Puppe excl. Cocon steht zu dem fertigen Schmetterling in einem Verhältniss der Lebendgewichte wie 1 : 0,49 und der Trockengewichte wie 1 : 0,65; erstere hatte somit die Hälfte ihres Gewichts verloren, vorzugsweise durch Abgabe von Wasser. Von den festen Bestandtheilen des Puppenkörpers unterlag nahezu ein Drittel dem Verbrauch während der energischen morphologischen Umwandlungen in den Schmetterling. Die gesammten Verluste, welche die spinnreifen Raupen bis zur vollendeten Umwandlung in den Schmetterling erleiden, sind sehr beträchtlich; denn es verhält sich das Lebendgewicht dieser Raupen zu dem des Schmetterlings wie 1 : 0,23, das Trockengewicht wie 1 : 0,33 . . ."

. . . „Diese Stoffe[1]) wurden während der Verpuppung zu drei Vierteln zerstört und schützten das Körperfett, von welchem nur der siebente Theil dem Zerfall unterlag, vor dem Verbrauch. In dem letzten Theile des Puppenstadiums wurde das letzte Viertel dieser Substanzen bis auf Spuren zerstört, und das Fett gelangte nunmehr in grösserem Umfange zur Oxydation resp. Veränderung; während der ganzen Metamorphose der Raupe in den Schmetterling wurde mehr als ein Drittel des Körperfettes verbraucht. Von den Eiweisskörpern der spinnreifen Raupe wurde etwas über die Hälfte zur Bildung der Seidensubstanz des Cocons verwendet, die andere Hälfte ging in die Puppe über und schien während der Ausgestaltung derselben in nicht sehr bedeutendem Umfange der Zersetzung zu unterliegen."

„Der fertige Schmetterling enthält im Ganzen nur ein Drittel der Eiweissstoffe der spinnreifen Raupen und scheidet bei seinem Austritte aus dem Cocon den grössten Teil der Eiweisszersetzungsproducte aus."

Doch muss bemerkt werden, dass aus Kellner's Versuchen, auf den Stoffverbrauch seiner Perioden VI und VII nicht genau ge-

---

1) N-freie Extractstoffe.

folgert werden kann, da im „Verlust" der Periode VI (Tab. XXI) nicht nur die oxydirte Stoffmenge, sondern auch der während des Einspinnens entleerte Koth (Verlust an Mineralstoffen!), und in dem „Verlust" der Periode VII die abgeworfene Haut und der entleerte Koth wahrscheinlich enthalten sind. Trotzdem kann man mit Kellner jedenfalls den Schluss ziehen, dass die zur Arbeit der Metamorphose nothwendige Energie sowohl von Eiweisskörpern als von Fett und N-freien Extractstoffen geliefert wird.

Meine Untersuchungen, wie diess aus der Beschreibung der Versuche oben hervorgeht, beziehen sich eigentlich auf den Energieumsatz dreier Lebensperioden.

Die Periode I fängt mit dem Einspinnen an und endigt mit der vollendeten Metamorphose zur Puppe. Sie dauert 5 Tage[1]. Der Energieumsatz dieser Periode ergibt sich aus der Differenz der bezüglichen Werthe der Gruppe I und II.

Die Periode II, die unmittelbare Fortsetzung der Periode I, dauert vom Ende der Metamorphose zur Puppe bis zum Ausschlüpfen des Schmetterlings. Ihre Dauer beträgt etwa 13—14 Tage. Der auf diese Periode fallende Energieumsatz entspricht der Differenz der bezüglichen Werthe der Gruppe II und III.

Die Periode III dauert vom Ausschlüpfen des Schmetterlings bis zum spontanen Absterben desselben. Ihre Dauer habe ich nicht bestimmt. Ihren Energieumsatz gibt die Differenz zwischen den Gruppen III und IV.

Bevor ich auf die Besprechung des Energieumsatzes der einzelnen Perioden eingehe, seien noch einige Daten angeführt, auf die weiter unten öfter Bezug genommen wird:

1 g Puppe enthält . . . . 1332 cal. Energie,
1 „ Puppentrockensubstanz enthält . . . . . 6011 „ „
1 „ leere Cocon (Rohseide) . . . . 4881 „[2]) „
1 „ Koth + abgeworfene Haut (Trockensubst.) . 2564 „ „

1 g weiblicher Schmetterling enthält . . . . 1291 cal. Energie,
1 „ Trockensubstanz des weiblichen Schmetterlings enthält . . . . 5976 „ „

1) Die Puppe ist eigentlich schon am 3. Tage des Einspinnens fertig, aber ihre definitive röthlichbraune Farbe erhält sie erst am 5. Tage.

2) Die Verbrennungswärme des reinen Fibroïns ist nach Stohmann und Langbein: 4980 cal. (7).

1 g männlicher Schmetterling enthält . . . . 1937 cal. Energie
1 „ Trockensubstanz des männlichen Schmetterlings enthält . . . . 6411 „ „

Die Berechnung des Energieumsatzes habe ich sowohl auf ursprünglich (d. h. am Anfang der Periode I) 1000 g spinnreifer Raupen [1]) als auch auf ein Stück spinnreife Raupe geführt. Als durchschnittliches Gewicht von einer Raupe nahm ich 2,726 g, das ist das Mittel von allen Raupen der vier Gruppen [1]).

Periode I.

(Periode der Einpuppung.)

	Urspr. 1000 g Raupen		Eine Raupe enthält	
	Trockensubstanz	Energie	Trockensubstanz	Energie
Am Anfang der Periode I (Gruppe I)	208,8 g	1150,2 Cal.,	0,569 g	3136 cal.
„ Ende „ „ I („ II)	183,7 „	997,6 „	0,501 „	2720 „
Verbraucht wurden während der Periode I.	25,1 g	152,6 Cal.,	0,068 g	416 cal.

Während der Einspinnung und Metamorphose zur Puppe wurden also 12,02 % der ursprünglichen Trockensubstanz und 13,27 % des Energiegehaltes verbraucht.

Der Energiegehalt von 1 g verbrauchter Trockensubstanz beträgt 6079 cal. Da der specifische (auf 1 g Trockensubstanz fallende) Energiegehalt der verbrauchten Stoffe höher ist als der den Körper der Raupe bildenden Stoffe (5509 cal., siehe Tab. XVII), so muss also der specifische Energiegehalt des Cocons incl. Puppe kleiner sein, wie er es auch thatsächlich ist (5432 cal.).

Nach Tabelle XV und XVI sind aus den ursprünglich 26,05 g Raupen der II. Gruppe 14,58 g Cocon incl. Puppe geworden, also beträgt die gesammte Gewichtsabnahme in der Periode I 44,03 %, die Trockensubstanzabnahme nur 12 %; mithin fällt der grösste Theil des Gewichtsverlustes in dieser Periode auf Wasser.

Die Wasserausgabe und der Trockensubstanzverlust sind aber während der I. Periode nicht gleichmässig, wie dies aus den Angaben P. Bert's (18) und aus den Citaten Bachmetjew's (19) her-

1) Auf diese Weise konnte ich den relativen Werth des Stoff- und Energieumsatzes für alle Perioden auf den Trockensubstanz- und Energiegehalt der spinnreifen Raupen beziehen.

vorgeht. Nach diesen ist die Gewichtsabnahme resp. CO_2-Production (P. Bert) am Anfang viel beträchtlicher.

Das Gewicht der Raupe verhält sich zu dem der Puppe wie 1 : 0,48, die Trockengewichte wie 1 : 0,51. Der specifische Energiegehalt der Puppentrockensubstanz beträgt 6011 cal., ist demnach höher wie in der Raupe (5509 cal.). Dies findet seine Erklärung darin, dass die durch die Raupe ausgeschiedenen Stoffe einen kleineren Energiegehalt besitzen; so enthalten die Seide 4881 cal., der Koth + abgeworfene Häute 2564 cal. pro 1 g.

Am Ende der Periode I zeigt die ursprüngliche Trockensubstanz- und Energiemenge von 1000 g Raupen folgende Verwerthung:

	Trockensubstanz		Energie	
483 g Puppe mit	107,0 g	(51,44 %),	631,4 Cal.	(55,13 %)
Seide mit	69,9 „	(33,53 %),	341,6 „	(29,69 %)
Koth + abgeworf. Häute mit	7,8 „	(3,01 %),	24,6 „	(1,91 %)
Verbraucht	25,1 „	(12,02 %),	152,6 „	(13,27 %)
Zusammen	208,8 g	(100,00 %),	1150,2 Cal.	(100,00 %)

Periode II.

(Umwandlung der Puppe in den Schmetterling.)

	Urspr. 1000 g Raupen		Eine Raupe enthält	
	Trockensubstanz	Energie	Trockensubstanz	Energie
Am Anfang der Periode II (Gruppe II)	183,7 g	997,6 Cal.,	0,501 g	2720 cal.
„ Ende „ „ II („ III)	165,8 „	858,6 „	0,452 „	2341 „
Verbraucht wurden während der Periode II.	17,9 g	139,0 Cal.,	0,049 g	379 cal.

Während der Metamorphose der Puppe zum Schmetterlinge werden also 8,6 % der Trockensubstanz, 12,1 % der Energie der spinnreifen Raupen verbraucht.

Der specifische Energiegehalt der verbrannten Stoffe dieser Periode ist höher als in der I. Periode, nämlich 7765 cal.; die Erklärung dafür geben die Experimente Kellner's, nach welchen hier mehr Eiweisskörper und Fett verbrannt werden. Damit stimmt auch die im Verhältniss zur Periode I relativ bedeutendere Abnahme des specifischen Energiegehaltes der nicht verbrannten Trockensubstanz. Trockensubstanz in der Raupe, Trockensubstanz in der Puppe + Cocon + Excremente und Trockensubstanz des Schmetter-

lings + Cocon + Excremente verhalten sich nämlich, bezüglich ihres specifischen Energiegehaltes, wie

5509 : 5432 : 5117.

Nach den Ergebnissen der Gruppe I und II resp. I und III ergibt sich, dass aus 1000 g spinnreifen Raupen 483 g Puppen und aus diesen 289 g Schmetterlinge werden. Der gesammte Gewichtsverlust in der II. Periode beträgt 194 g, davon 17,9 g verbrannte, 18,3 g ausgeschiedene Trockensubstanz, d. h. auch für den Stoffwechsel während der Metamorphose der Puppe zum Schmetterling ist der Wasserverlust auffallend gross.

Summirt man den Stoff- und Energieverbrauch der Periode I und II, so erhält man jene Substanz- und Energiemenge, die während der Entwicklung einer spinnreifen Raupe zum Schmetterling verbraucht werden, das sind:

0,111 g = 20,6 % Trockensubstanz

795 cal. = 25,4 % Energie.

Am Schluss der II. Periode ist die in 1000 g spinnreifen Raupen enthaltene Stoff- und Energiemenge folgender Weise verwerthet:

	Trockensubstanz		Energie	
289 g Schmetterling enthalten	70,85 g	(33,93 %)	436,4 Cal.	(37,94 %)
Excrete (Cocon, Koth, abgeworfene Häute) enthalten	94,95 „	(45,48 %)	422,2 „	(36,71 %)
Verbraucht	43,00 „	(20,59 %)	291,6 „	(25,35 %)
Zusammen	208,80 g	(100,00 %)	1150,2 Cal.	(100,00 %)

Ausser dem Angeführten liefert die Tabelle XIX noch sehr interessante Daten. So wird vor Allem die bereits bekannte Thatsache bestätigt, dass die schwereren Raupen — d. h. deren Gewicht den Mittelwerth übertrifft — zu weiblichen, die leichteren zu männlichen Schmetterlingen werden. Ausserdem ist auch das relative — d. h. auf das ursprüngliche Gewicht der Raupen bezogene — Körpergewicht der weiblichen Schmetterlinge grösser wie das der männlichen. Letzteres beträgt nämlich 22,1 %, ersteres 29,1 %. Dagegen ist der Trockensubstanzgehalt der männlichen Schmetterlinge grösser — 30,2 % — wie bei den weiblichen, 21,6 %. Auch im Energiegehalt zeigt sich ein bedeutender Unterschied. Während der weibliche Schmetterling durchschnittlich 1523 cal. Energie enthält, finden sich im männlichen bloss 985 cal. Dagegen ist der specifische Energiegehalt der weiblichen Trockensubstanz 5976 cal., jener der männlichen 6411 cal.

Alle diese Unterschiede der weiblichen und männlichen Raupen resp. Schmetterlinge weisen darauf hin, dass der Stoff- und Energieumsatz nach dem Geschlechte verschieden ist.

Diese Verschiedenheit wird bereits während der Metamorphose der Puppe bemerkbar, wie das aus der Untersuchung von Smujdsinovitsch hervorgeht (19). Nach dieser verlieren nämlich die männlichen Raupen dabei 14,3 %, die weiblichen 12,4 % ihres Substanzgehaltes.

Eigentlich ist schon ein Unterschied im Trockensubstanz- und Energiegehalt der spinnreifen Raupen vorhanden, je nachdem sie weiblichen oder männlichen Geschlechts sind (Tabelle XVII). Nach den Erfahrungen bei der Gruppe III können wir mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass in der I. Gruppe die Raupen Nr. 1, 9, 17 und 29, deren Gewicht über dem Mittelwerth ist, weibliche Individuen sind mit einem durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 20,7 %, während die übrigen männliche Individuen sind mit 21,1 %; auch enthält 1 g der ersteren Raupen durchschnittlich 1117 cal., der letzteren 1196 cal. pro 1 g Körpergewicht.

Da diese Unterschiede nach dem Geschlechte constatirt sind, müssen wir den Energieumsatz in der Periode I und II für die weiblichen und männlichen Raupen, mit Hülfe der oben für die weiblichen und männlichen Raupen besonders berechneten Mittelwerthe (für Trockensubstanz- und Energiegehalt) getrennt berechnen. Danach sind enthalten:

	in 1000 g spinnreifen			
	weibl.,	männl.,	weibl.,	männl. Individ.
	Trockensubstanz		Energie	
Am Anfang der Periode I . . .	206,9 g	211,4 g;	1116,7 Cal.	1196,2 Cal.
Am Ende „ „ II . . .	165,8 „	165,8 „	844,6 „	875,9 „
Also verbraucht in der Periode I und II	41,1 g	45,6 g;	272,1 Cal.	320,3 Cal.

Die männlichen Individuen verbrauchten also mehr Substanz und Energie. Auf 1 g verbrauchte Substanz fallen bei den männlichen Individuen 7,024 Cal., bei den weiblichen 6,620 Cal. Energie.

Periode III.

(Geschlechtsfunctionen der Schmetterlinge.)

	Urspr. 1000 g Raupen		Eine Raupe enthält	
	Trockensubstanz	Energie	Trockensubstanz	Energie
Am Anfang der Periode III (Gruppe III)	165,8 g	858,6 Cal.;	0,452 g	2341 cal.
„ Ende „ „ III (Gruppe IV)	145,0 „	718,2 „	0,395 „	1958 „
Verbraucht wurden während der Periode III	20,8 g	140,4 Cal.;	0,057 g	383 cal.

In der letzten Periode, d. h. in der Periode der Paarung und der Eierlegung, beträgt der Substanzverbrauch 9,1 %, der Energieverbrauch 12,2 % der ursprünglich im Körper der Raupe vorhanden gewesenen Trockensubstanz resp. Energie.

Der specifische Energiegehalt der in der Periode III verbrannten Stoffe ist 6750 cal., er fällt also zwischen die entsprechenden Werthe der I. und II. Periode; der specifische Energiegehalt der am Ende der letzten Periode zurückgebliebenen Stoffe — in den Schmetterlingen + Cocon + Excremente + abgeworfene Häute — ist von 5177 cal. auf 4925 cal. gesunken.

Wenn auch die Anordnung des Versuches in Periode III eine getrennte Untersuchung der weiblichen und männlichen Schmetterlinge nicht zuliess, so kann man doch aus folgenden Befunden auf einen Unterschied im Stoff- und Energieumsatz der weiblichen und männlichen Schmetterlinge auch in dieser Lebensperiode mit grosser Wahrscheinlichkeit folgern:

Der specifische (auf 1 g Trockensubstanz fallende) Energiegehalt der ausschlüpfenden weiblichen Schmetterlinge ist 5976 cal., der der männlichen Spinner 6411 cal., dagegen der der nach der Eierlegung resp. nach der Paarung sterbenden weiblichen Schmetterlinge 5336 cal., der männlichen 5244 cal. Dieser Unterschied lässt sich mit der Annahme erklären, dass die männlichen Spinner während der Paarung und während der vorhergehenden Körperbewegungen Stoffe von höherem Energiegehalt verbrauchten (und ausschieden) wie die Weibchen und dabei ihren verwerthbaren Energievorrath auch vollständiger erschöpften. Vielleicht ist das auch die Ursache, dass die männlichen Spinner gleich nach der Paarung sterben,

während die Weibchen nach der Eierlegung noch einige Tage leben können.

Schliesslich können wir aus dem Vergleich der Periode I und III den für die ganze Metamorphose der Raupe zum Schmetterling bis zu dessen spontanem Absterben nöthige Stoff- und Energiemenge berechnen. Die folgende Zusammenstellung zeigt, in welchem Verhältniss die Stoff- und Energiemenge von ursprünglich 1000 g Raupen bis zum Schlusse des letzten Lebensabschnittes verwerthet wurde:

	von der Trockensubstanz		von der Energie	
sind enthalten in den Spinnern . . .	33,38 g	(15,98 %),	176,8 Cal.	(15,37 %)
in den Eiern	19,05 „	(9,12 %),	115,7 „	(10,06 %)
in den ausgeschiedenen Stoffen (Cocon u. s. w.)	92,57 „	(44,35 %),	425,7 „	(37,01 %)
Verbraucht wurden	63,80 „	(30,55 %),	432,0 „	(37,56 %)
Zusammen	208,80 g	(100,00 %),	1150,2 Cal.	(100,00 %)

Berechnen wir diese Werthe für je ein Stück Raupe, so ergibt:

0,174 g Trockensubstanz- und 1178 cal. Energieverbrauch

für das Individuum.

Die Hauptergebnisse der III. Versuchsreihe habe ich in der Tabelle XXII zusammengestellt.

Tabelle XXII.

Eine durchschnittlich 2,73 g schwere Raupe enthält resp. verbraucht	Trocken-substanz-Gehalt g	Energie-Gehalt cal.	Specifischer Energie-Gehalt cal.	Specifischer Energiegehalt des lebenden Körpers also excl. ausgeschiedenen Stoffen cal.
Am Anfang der I. Periode	0,5692	3136	5509	5509
„ Ende „ I. „	0,5007	2720	5432	6011
„ „ „ II. „	0,4521	2341	5177	5976 ♀ 6411 ♂
„ „ „ III. „	0,3954	1958	4952	5336 ♀ 5244 ♂

Es wurden verbraucht in den einzelnen Perioden					Specifischer Energiegehalt	
Periode	Trocken-substanz		Energie		der verbrauchten Trocken-substanz	der aus-geschiedenen Trocken-substanz
	g	%	cal	%	cal.	cal.
I	0,0685	12,02	416	13,27	6079	3922
II	0,0486	8,57	379	12,08	7765	2000
III	0,0567	9,96	383	12,21	6750	{ 6101[1] { 3064[2]

Literatur.

1) F. Tangl, Beiträge zur Energetik der Ontogenese. I. Mittheilung. Die Entwicklungsarbeit im Vogelei. Pflüger's Archiv Bd. 93 S. 327.
2) O. Kellner, Chemische Untersuchungen über die Entwicklung und Ernährung des Seidenspinners (Bombyx mori). Landwirthschaftl. Versuchsstationen Bd. 30 S. 59 und Bd. 33 S. 381.
3) Bohr und Hasselbalch, Ueber die Kohlensäureproduction des Hühnerembryo. Skandin. Arch. f. Physiol. Bd. 10 S. 149.
4) Langbein, Chemische und calorimetrische Untersuchung von Brennstoffen. Zeitschr. f. angewandte Chemie 1900 S. 1227.
5) Haberlandt, Ueber das Ausbrüten der Eier im Laufe desselben Sommers, in welchem selbe abgesetzt wurden. Oesterreichische Seidenbau-Zeitung 1871 S. 29.
6) Neubauer und Vogel, Analyse des Harns. Analyt. Theil S. 321—322. 1898.
7) Landolt und Börnstein, Physikalische Tabellen. II. Auflage.
8) L. Luciani e A. Piutti, Ueber die respiratorischen Erscheinungen an den Eiern von Bombyx mori. Referat: Maly, Jahresber. d. Thierchem. Bd. 18 S. 244.
9) A. Tichomiroff, Chemische Studien über die Entwicklung der Insecteneier. Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 9 S. 518—532 und S. 566—567.
10) W. Henneberg, Chemische Untersuchungen auf apistischem Gebiete mit besonderer Berücksichtigung der Faulbrut. Journ. f. Landwirthschaft Bd. 25 S. 461. Referat: Maly, Jahresberichte Bd. 8 S. 290.
11) W. Preyer, Specielle Physiologie des Embryo. Leipzig 1885.

1) In den Eiern.
2) In den Excrementen.

12) L. Liebermann, Embryochemische Untersuchungen. Pflüger's Archiv Bd. 43 S. 71.
13) R. Dubois, Sur l'huile d'œufs de la sauterelle de Algerie ou criquet pèlerin (Acridium peregrinum). Compt. rend. t. 116 p. 1393.
14) Hasselbalch, Ueber den respiratorischen Stoffwechsel des Hühnerembryo. Skandin. Arch. f. Physiol. Bd. 10 S. 353.
15) E. Babák, Ueber die Wärmeregulation bei Neugeborenen. Pflüger's Archiv Bd. 89 S. 149.
16) M. Rubner, Calorimetrische Untersuchungen II. Zeitschr. f. Biologie Bd. 21 S. 337.
17) Fr. Haberlandt, Der Seidenspinner. Wien 1871.
18) P. Bert, Observations sur la respiration du bombyx du murier à ses differents états. Compt. rend. soc. biolog. 1885 p. 528—530.
19) P. Bachmetjew, Calorimetrische Messungen an Schmetterlingspuppen. Zeitschr. f. wissensch. Zoologie 1902 S. 557.

(Aus dem physiol. Institute der thierärztl. Hochschule in Budapest.
Vorstand: Prof. Dr. F. Tangl.)

Zur Kenntniss des Chorionins und des Chorioningehaltes der Seidenspinnereier.

Von

Dr. **K. Farkas**, II. Assistent am Institut.

In vorstehender Arbeit (S. 490) wies ich darauf hin, dass zwischen dem Hühnerei und Seidenspinnerei bezüglich der Eischale bedeutende Unterschiede sind. Letztere enthält viel mehr und ganz andere organische Stoffe mit viel grösserem Gehalt an chemischer Energie. Auch ist die Schale vom Eiinhalt, im Gegensatz zum Hühnerei, vollständig kaum zu trennen. Eben desshalb wollte ich ursprünglich der Frage näher treten, ob die Eischale am Stoffwechsel im Ei theilnimmt oder nicht. Wenn ich auch das nicht entscheiden konnte, so haben meine Untersuchungen über die Schale des Seidenspinnereies einige mittheilenswerthe Daten geliefert, die ich im Folgenden anführe.

Bei meinen diesbezüglichen Untersuchungen hielt ich mich an die Versuche von Tichomiroff[1]), der die Schale des Seidenspinnereies am eingehendsten geprüft und bewiesen hat, dass sie nicht aus Chitin, sondern aus einer dem Chitin äusserlich ähnlichen Substanz besteht, die er „Chorionin“ nannte. Wesentliche Unterschiede bestehen in ihrer elementaren Zusammensetzung und Löslichkeit. Das Chorionin löst sich in verhältnissmässig schwachen Laugen vollkommen, während das Chitin auch in concentrirten Laugen unlöslich ist. Tichomiroff hat auch eine Methode zur Darstellung und quantitativen Bestimmung des Chorionins angegeben, die auch ich angewendet habe.

---

1) Tichomiroff, Chem. Studien über die Entwicklung der Insecteneier. Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 9 S. 518—532 und 566—567.

Ich verwendete unbebrütete Eier meiner II. Versuchsreihe (siehe voranstehende Arbeit S. 493), die ich nach Tichomiroff auf folgende Weise verarbeitete:

Ungefähr 1 g Eier wurden in 1 ‰iger Salzsäure fein zerrieben und der Brei auf dem Wasserbade in 350 ccm 1 ‰iger Salzsäure durch 2 Stunden gekocht. Nach dem Abfiltriren der Salzsäure wurde die Masse noch 20 Minuten in ca. 300 ccm destillirten Wassers gekocht und dann durch 36 Stunden in 300 ccm Pepsinsalzsäure (1 ‰ Pepsinum germanicum in 2 ‰ige Salzsäure) bei Körpertemperatur künstlicher Verdauung ausgesetzt. Nachher wurde abermals in 1 ‰iger Salzsäure 10 Minuten lang, dann in 3—4 Mal gewechseltem Alkohol, Aether gekocht, zuletzt mit Alkohol āā Aether ausgewaschen. Das zurückbleibende Chorionin wurde auf ein abgewogenes Filter gebracht und nach dem Trocknen — im Vacuum bei 85 ° C. — gewogen.

Diese Methode weicht von der Tichomiroff'schen nur darin ab, dass ich nicht natürlichen, sondern künstlichen Magensaft benutzte.

Auf diese Art gewann ich aus den Eiern:

in der 1. Probe . . . 10,46 %
„ „ 2. „ . . . 10,60 % Chorionin.

Tichomiroff fand 8,87 %; meine Werthe sind also etwas höher. Bei der Wiederholung der Bestimmung, wobei ich nach Hoppe-Seyler bereiteten natürlichen Magensaft benutzte, bekam ich dasselbe Resultat:

in der 3. Probe . . . 10,40 %
„ „ 4. „ . . . 10,40 %.

In dem auf diese Weise erhaltenen Chorionin bestimmte ich den C-, N- und Energiegehalt. Nach mehreren gut übereinstimmenden Analysen ist der

C-Gehalt . . . . 49,63 %
N-Gehalt . . . . 15,64 %
Energiehalt von 1 g Chorionin . 5115 cal.[1]).

Die entsprechenden Werthe Tichomiroff's weichen — wie es aus der folgenden Zusammenstellung ersichtlich ist — von den meinigen ab. In die Tabelle habe ich auch die Angaben Verson's[2]) aufgenommen, der die Eischalen für Keratin hielt. Seine Werthe

1) Die Verbrennung in der Berthelot'schen Bombe geschah in derselben Weise wie bei den leeren Eischalen; siehe meine voranstehende Arbeit S. 494.
2) Citirt nach Tichomiroff S. 566.

betrachtete aber Tichomiroff nicht für einwandsfrei, da die Eischalen nicht entsprechend gereinigt waren.

	Nach Tichomiroff,	nach Verson,	nach meinen Versuchen
Chorioningehalt der unbebrüteten Eier	8,87 %	—	10,46 %
Chorionin in der Trockensubstanz	25,97 %	—	29,03 %
Das Chorionin enthält:			
C . . .	47,27 %	50,90 %	49,63 %
H . . .	6,71 %	7,11 %	—
N . . .	16,93 %	17,20 %	15,64 %
O . . .	24,72 %	19,33 %	—
S . . .	3,67 %	4,38 %	—
Asche . .	0,70 %	1,09 %	—

Möglicher Weise sprechen die aus dieser Zusammenstellung ersichtlichen Differenzen der einzelnen Untersuchungen dafür, dass das Chorionin individuell verschieden, oder, dass es kein einheitlicher Körper ist.

Was den Energiegehalt (5115 cal.) des Chorionins betrifft, so steht dieser einer anderen Substanz des Seidenspinners, nämlich dem Fibroïn (4980 cal.) nahe, entfernt sich aber beträchtlich von dem des Chitins (4650 cal.) wie auch des Keratins (Wolle = 5510 cal.)[1]).

Aus der Menge und Zusammensetzung des Chorionins geht hervor, dass es einen grossen Theil des Stoff- und Energiegehaltes der unbebrüteten Eier bildet, und zwar fallen:

von der Trockensubstanz der Eier	auf das Chorionin	29,0 %
„ dem N-Gehalt	„ „ „ „ „	41,4 %
„ „ C-Gehalt	„ „ „ „ „	24,9 %
„ „ Energiegehalt	„ „ „ „ „	26,9 %

In den 10,46 g Chorionin von 100 g Eier sind enthalten:

Asche . . .	0,07 g (nach Tichomiroff)
N	1,64 „
C	5,71 „
Energie . .	53,5 Cal.

Vorausgesetzt, dass die Eischale zum allergrössten Theil aus Chorionin besteht, kann man nun die Zusammensetzung des Eiinhaltes durch einfache Subtraction aus den für das Gesammtei gefundenen

1) Börnstein-Landolt, Physik. Tabellen, 2. Aufl.

Werthen (s. S. 504 der vorangehenden Arbeit) leicht berechnen. Demnach fanden sich in 100 g Eiern:

von	36,03 g Trockensubstanz .	25,57 g im Eiinhalte
„	8,15 „ Fett	8,15 „ „ „
„	1,23 „ Asche	1,16 „ „ „
„	3,95 „ N	2,32 „ „ „
„	19,29 „ C	13,58 „ „ „
„	214,9 Cal. Energie . . .	161,4 Cal. „ „

Zum Schlusse sei mir nur noch eine Bemerkung über die Bedeutung der Eischale gestattet. Sie kann entweder nur eine an der embryonalen Entwicklung unbetheiligte Schutzvorrichtung sein, oder aber sie könnte sich auch eventuell am Stoffwechsel betheiligen Ob Letzteres der Fall ist, konnte ich nicht entscheiden, da ich ebenso wie Tichomiroff den Chorioningehalt der Eier nur vor — und nicht nach — dem Bebrüten bestimmt habe. Es ist aber erwähnenswerth, dass die ausschlüpfenden Raupen, während ihres Auskriechens, nach Haberlandt[1]) einen Theil der Eischalen, welcher durch ein alkalisches Secret der Raupen aufgeweicht wird, durchnagen und die abgenagten Theile schlucken. Es scheint nicht ausgeschlossen zu sein, dass die abgenagten Eischale-Partikelchen in dem alkalischen Magensaft verdaut werden und auf diese Art der neugeborenen Raupe als Nahrung dienen können.

---

1) Fr. Haberlandt, Der Seidenspinner. Wien 1871.

(Aus dem physiologischen Institute der thierärztl. Hochschule in Budapest.
Vorstand: Prof. Dr. F. Tangl.)

Ueber die Concentration der Hydroxylionen im Blutserum*).

Von

Dr. G. Farkas, I. Assistent am Institute.

I.

Die chemische Reaction des Mediums übt auf die chemischen Processe überhaupt, besonders aber auf die katalytischen und vitalen Processe, zweifellos einen grossen Einfluss aus, der erst dann in seinem vollen Umfange bekannt sein wird, wenn wir auf Grund der physikalisch-chemischen Kenntnisse über die wirkliche Reaction der thierischen Flüssigkeiten unter verschiedenen physiologischen Verhältnissen genau orientirt sein werden. In überzeugender Weise führte dies Höber zuerst in seiner ersten Publication über den Hydroxylionengehalt des Blutes und neuerdings in seinem schönen Buche und in einer Arbeit über die Acidität der Harnes aus [1] [2] [3].

In diesen Arbeiten findet sich auch eine klare und eingehende Erörterung der Unzulänglichkeit der bisher befolgten Methoden, namentlich der Titration, zur Erkennung der wahren Reaction von Lösungen, die nur in der Concentration der HO'- resp. H·-Ionen gegeben ist, und die wenigstens nach unseren heutigen Kenntnissen mit genügender Genauigkeit nur mit physikalisch-chemischen Methoden

---

*) Eine vorläufige Mittheilung der Ergebnisse dieser Arbeit wurde von Herrn Prof. F. Tangl bereits am 24. November 1902 der Akademie der Wissenschaften in Budapest vorgelegt und ist in den Berichten dieser Akademie in ungarischer Sprache im Januar d. J. publicirt worden.

1) R. Höber, Ueber die Hydroxylionen des Blutes. Dieses Archiv Bd. 81. 1900.

2) Physikalische Chemie der Zelle und Gewebe 1902 S. 235.

3) Höber, Acidität des Harns vom Standpunkt der Ionenlehre. Beiträge zur chemischen Physiologie und Pathologie Bd. 3. 1903.

[illegible] dies hier [illegible] Hinweis auf die [illegible]

[illegible] physikalisch-chemische [illegible] zur Bestimmung der [illegible] Flüssig- [illegible] die Reaction [illegible] Eindeutigkeit [illegible]

[illegible] noch Ver- [illegible]

[illegible] erste [illegible] doch waren [illegible] Methodik in den [illegible] Resultate [illegible] des Herrn [illegible] und [illegible] mit ein- [illegible] Hilber's. [illegible] Versuchs- [illegible]

[illegible] mit reinlichsten [illegible] mit möglichst [illegible] die Zuverlässigkeit [illegible]

[illegible] Wasserstoffelektroden, dürfte [illegible] schon in diesem [illegible] resp. [illegible]

[illegible] die eine Elektrode mit [illegible]

[illegible] auf elektrometrischem Wege. [illegible]

normaler Salzsäure, die andere mit Blutserum, so ist die an den Polen erscheinende elektrische Spannung bei einer Temperatur von 18° C.:

$$\pi_{18^0} = 0{,}0581 \log \frac{C_2}{C_1} \text{ (Nernst)[1]} \quad . \quad . \quad . \quad \text{(I)},$$

wo C_2 die Concentration der Wasserstoffionen in der Salzsäure, C_1 im Serum bedeuten.

Die $^1/_{100}$ normale Salzsäure als gänzlich dissociirt angenommen, wird $C_2 = 10^{-2}$. Hat man π bestimmt, wird C_1 — da C_2 bekannt ist — berechenbar. Wollen wir statt der Wasserstoffionen im Serum die Concentration der Hydroxylionen erfahren, können wir mittelst der Dissociationsconstante des Wassers auch diese berechnen. Ist nämlich C_{OH} die Concentration der HO'-Ionen und C_H die der H·-Ionen, so ist bei 18°:

$$C_{OH} \cdot C_H = 0.64 \times 10^{-14}, \text{ also}$$

$$C_H = \frac{0{,}64 \times 10^{-14}}{C_{OH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(II)}.$$

Dies in obige Gleichung gesetzt, wenn $C_2 = 10^{-2}$ ist, wird

$$\pi = 0{,}0581 \log \frac{10^{12} \,.\, C_{OH}}{0{,}64},$$

folglich wird C_{OH}, wenn π gemessen ist, genug einfach berechenbar.

Wegen der eintretenden chemischen Umsetzungen kann man aber die Säure mit dem Serum nicht direct in Berührung bringen, es muss also eine möglichst indifferente Elektrolytlösung, in diesem Falle eine (neutrale) NaCl-Lösung dazwischen geschaltet werden. Auf diese Weise entstehen aber an sämmtlichen Berührungsflächen der verschiedenen Lösungen Potentialdifferenzen, deren Werth für beliebige zwei sich berührende Lösungen ganz im Allgemeinen die Planck'sche Gleichung gibt:

$$\pi_{18^0} = 0{,}0581 \log \xi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(III)}.$$

ξ ist aus folgender transcendentaler Gleichung berechenbar:

---

1) Die Gleichung lautet in ihrer ursprünglichen Form: $\pi = \frac{RT}{n\varepsilon} \log \text{nat} \cdot \frac{C_2}{C_1}$, worin R die in Voltculomben ausgedrückte Gasconstante, T die absolute Temperatur (also bei $t = 20°$ ist $T = 293$), n die Valenzen des betreffenden Ions, ε die Faraday'sche Constante bedeuten. Die betreffenden Werthe eingesetzt und die natürlichen Logarithmen in Brigg'sche umgerechnet, wird

$$\pi = \frac{8{,}316 \times 293}{1 \times 96540} \cdot \frac{1}{0{,}4343} \log \frac{C_2}{C_1} = 0{,}0581 \log \frac{C_2}{C_1}.$$

$$\frac{\xi \cdot U_2 - U_1}{V_2 - \xi \cdot V_1} = \frac{\log \frac{C_2}{C_1} - \log \xi}{\log \frac{C_2}{C_1} + \log \xi} \cdot \frac{\xi \cdot C_2 - C_1}{C_2 - \xi \cdot C_1} \quad . \quad . \quad \text{(III a)},$$

wo

$$U_2 = u_2 c_2 + u_4 c_4 + u_6 c_6 + \cdots\cdots$$
$$U_1 = u_1 c_1 + u_3 c_3 + u_5 c_5 + \cdots\cdots$$

= Summe der Wanderungsgeschwindigkeiten der einzelnen Kationen, multiplicirt mit ihren Concentrationen,

$$V_2 = v_2 c_2 + v_4 c_4 + v_6 c_6 + \cdots\cdots$$
$$V_1 = v_1 c_1 + v_3 c_3 + v_5 c_5 + \cdots\cdots$$

dasselbe für die Anionen und

$$C_1 = c_1 + c_3 + c_5 + \cdots\cdots$$
$$C_2 = c_2 + c_4 + c_6 + \cdots\cdots$$

die Summe der Ionenconcentrationen in beiden Lösungen bedeuten.

Wie ersichtlich, ist das Berechnen der Grenzpotentiale ziemlich complicirt. In zwei Fällen wird jedoch die Formel sehr einfach:

1) Wenn $C_2 = C_1$, d. h. die Gesammtconcentration der Ionen in beiden sich berührenden Lösungen die gleiche ist; dann wird

$$\xi = \frac{U_1 + V_2}{U_2 + V_1} \text{ und } \pi = 0{,}058 \log \frac{U_1 + V_2}{U_2 + V_1} \quad . \quad . \quad \text{(IV)}$$

und wenn in beiden Flüssigkeiten nur je ein Elektrolyt gelöst ist:

$$\pi = 0{,}058 \log \frac{u_1 + v_2}{u_2 + v_1}$$

2) Wenn sich zwei Lösungen verschiedener Concentration derselben Elektrolyten berühren, so wird

$$U_2 = u c_2 \qquad U_1 = u c_1$$
$$V_2 = v c_2 \qquad V_1 = v c_1$$

folglich

$$\pi = 0{,}058 \frac{v - u}{v + u} \log \frac{c_2}{c_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(V)}.$$

3) Wenn dann in letzterer Gleichung noch $c_2 = c_1$, so wird natürlich: $\pi = 0$.

Höber wählte eine solche Versuchsanordnung, dass an der Berührungsfläche zwischen Blut und NaCl-Lösung womöglich keine Potentialdifferenz entstehe, die übrigen Grenzpotentiale hingegen den oben in Punkt 1 und 2 entsprechenden Bedingungen entsprechend leicht berechenbar seien.

---

1) Planck, Zeitschrift für physikalische Chemie Bd. 4. 1889.

Wenn man nämlich das Serum als Kochsalzlösung betrachtet, kann man das Blut oder Serum mit einer solchen Kochsalzlösung in Berührung bringen, deren Ionenconcentration der des Serums entspricht, also mit einer ungefähr 0,125 normalen NaCl-Lösung[1]). Auf diese Weise sind die oben in Punkt 3 gegebenen Bedingungen annähernd erfüllt, so dass das Grenzpotential beinahe = 0, jedenfalls aber zu vernachlässigen ist. Kommt nun diese Kochsalzlösung mit einer auf der anderen Seite isohydrischen HCl-Lösung in Berührung, so wird $C_1 = C_2$; es bestehen also die Bedingungen des Punkt 1, folglich ist das Grenzpotential aus der Gleichung (IV) leicht zu berechnen. Das Polpotential dieser Kette ergibt sich jetzt aus der Gleichung (I), nur muss der daraus gewonnene Werth mit dem Werthe der Grenzpotentiale corrigirt werden. Dem entsprechend hat Höber bei seinen Versuchen mit Blut als einfachste Kette die folgende zusammengestellt:

H | 0,12 n HCl | 0,125 n NaCl | Blut | H

II.

Bugarszky[2]) hatte schon früher bewiesen, dass man die Berechnung der Grenzpotentiale umgehen kann, wenn man dieselben mit einem Kunstgriff fast vollständig eliminirt resp. auf ein Minimum reducirt. Dies erreicht man, wenn man beiden sich berührenden Lösungen in grossem Ueberschusse, jedoch in gleicher Concentration, denselben Elektrolyten züsetzt.

Bei einer solchen Versuchsanordnung, welche auch Rhorer bei seinen bereits citirten Untersuchungen über Harnacidität verwendete, ist die Berechnung der Ionenconcentration aus der gemessenen Potentialdifferenz noch einfacher als bei der von Höber gewählten.

1) Gestützt auf die Untersuchungen von Bugarszky und Tangl (dieses Archiv Bd. 72) führt Höber die Berechtigung dieser Berechnung des Näheren aus: Die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen des Serums: $Na^{\cdot}$, $K^{\cdot}$, $^1/_2\,Ca^{\cdot\cdot}$, $^1/_2\,Mg^{\cdot\cdot}$ und Cl', $^1/_2\,SO_4''$, $^1/_2\,CO_3''$ sind von der der $Na^{\cdot}$- und Cl'-Ionen nicht sehr verschieden, und die Concentration der $H^{\cdot}$- und OH'-Ionen mit bedeutend grösserer Wanderungsgeschwindigkeit ist dagegen ausserordentlich gering; ausserdem überragt die Concentration der $Na^{\cdot}$- und Cl'-Ionen die übrigen ganz bedeutend. Nach Bugarszky und Tangl ist die Elektrolytenconcentration des Serums durchschnittlich = 0,229, was einer ungefähr 0,125 = $^1/_8$ norm. NaCl-Lösung entspricht, da das Kochsalz in solcher Concentration auf ungefähr 82,5% dissociirt.

2) Zeitschr. f. anorgan. Chemie Bd. 14. 1897.

Ich habe meine Versuche nach dem Bugarszky'schen Principe angeordnet und wählte für meine Gasketten in den meisten Versuchen folgende Zusammenstellung:

H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | Blutserum | H.

Da die Grenzpotentiale bei der Versuchsanordnung nach Bugarszky um so geringer sind, je grösser die Concentration des zugesetzten Elektrolyten im Verhältniss zu derjenigen der gemessenen Ionen ist, so wäre es sicherlich in dieser Beziehung vortheilhafter gewesen, statt $^1/_{100}$ HCl in der $^1/_8$ NaCl-Lösung $^1/_{1000}$ HCl zu lösen. Das that ich auch bei meinen ersten Versuchen. Da aber das präcise Herstellen, Aufbewahren und Controliren solcher schwacher Lösungen sehr umständlich resp. unzuverlässig ist, habe ich später nur mehr $^1/_{100}$ norm. Lösungen verwendet.

Wenn nun auch die Grenzpotentiale in obiger Kette sehr gering sind, so lassen sich dieselben doch — mit Ausnahme des Potentials an der Grenze zwischen $^1/_8$ NaCl-Lösung und Blutserum — sowohl nach der oben gegebenen Planck'schen Formel als auch nach der von Abegg und Bose[1]) abgeleiteten einfacheren Formel berechnen. Diese Berechnung habe ich in einigen Versuchen, wo es sich um Controlmessungen resp. um den Vergleich der gefundenen Potentialwerthe mit den theoretischen handelte, auch berechnet.

Ueber die Ausführung der Messungen und über die benützten Elektroden kann ich mich ganz kurz fassen. Letztere waren die von Bugarszky[2]) modificirten Löwenherz'schen Gaselektroden, mit der weiteren Abänderung, dass sie aus einem Stücke hergestellt wurden, wodurch die Kautschukverbindung (siehe Abbildung in Rhorer's citirter Arbeit) wegfiel. Es sei gleich an dieser Stelle erwähnt, dass ich, um mit möglichst geringen Serummengen auskommen zu können, neuerdings sehr kleine Elektroden anfertigen liess, deren Fassungsraum kaum 1 ccm ist. Die Messungen gehen auch mit diesen ganz glatt. Die verbindende $^1/_8$ norm. NaCl-Lösung war in einem U-förmigen Capillarrohr, das sich sowohl in die zu messende wie die Messflüssigkeit senkte.

---

1) Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 30. 1899 und Jahresber. d. schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur 1899, Sep.-Abdr. — Die Formel ist für die elektromotorische Kraft in Concentrationsketten bei Zusatz eines anderen Elektrolyten mit einem gemeinsamen Ion abgeleitet.

2) Zeitschr. f. physikal. Chemie Bd. 20. 1896 und Rhorer's vorerwähnte Arbeit.

Das Blutserum, welches ich stets durch spontane Gerinnung des meist unter Paraffinöl aufgefangenen Blutes gewann, wurde, sobald es sich in genügender Menge gebildet hatte, ganz rein abgehebert und die Elektroden sofort gefüllt. Letztere standen vorher mehrere Tage mit destillirtem Wasser und Wasserstoff gefüllt. Die Messung der elektromotorischen Kraft führte ich 6—24 Stunden nach dem Füllen der Elektrode mit Blutserum aus. Dabei bediente ich mich der Poggendorff'schen Compensationsmethode. Als Messapparat benützte ich ein Deprez-d'Arsonval'sches Galvanometer. Zur directen Messung gab ein Accumulator den Strom, dessen elektromotorische Kraft ich vor und nach dem Messen immer mittelst eines Normal-Weston-Element bestimmte. Gemessen wurde bei 19—22° C. Zimmertemperatur.

III.

Die meisten Bestimmungen habe ich an Pferdeserum angestellt, wie das aus folgender Tabelle I ersichtlich, in welcher die Ergebnisse der Messungen zusammengestellt sind.

Vorderhand wollen wir nur die Daten der Columne 2—4 besprechen. Columne 2 gibt die Lösung an, welcher das Serum zur Messung gegenübergestellt war: $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl gelöst, π_1 ist die damit gefundene elektromotorische Kraft — Polpotential — und C_{OH} die HO'-Ionenconcentration im Blutserum, aus π_1 ohne jede weitere Correctur berechnet.

Wie aus Columne 3 ersichtlich, bewegen sich die Werthe für letztere zwischen

$$0,7 \times 10^{-7} \text{ und } 4,5 \times 10^{-7},$$

doch blieben die meisten zwischen

$$1 \times 10^{-7} \text{ und } 3 \times 10^{-7}.$$

Dieser HO'-Concentration gemäss würde also das Blutserum einer 1 bis 3 zehnmillionstel Lauge entsprechen. Da reines, destillirtes Wasser bei einer Temperatur von 18—20° auch einer ungefähr zehnmillionstel Lauge entspricht, so folgt aus diesen Messungen, dass das Serum neutral ist, resp. annähernd so viel HO'-Ionen enthält wie reines destillirtes Wasser.

Meine Werthe sind etwa 10—50 mal kleiner als der Mittelwerth aus Höber's Messungen: 50×10^{-7}.

Dieser bedeutende Unterschied erforderte natürlich eine eingehende Untersuchung seiner Ursachen, beziehungsweise weitgehende

Tabelle I.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nummer des Serums	Gemessen mit der Elektrode	Gefundene elektromotor. Kraft: π_1 Volt	Aus π_1 berechnete HO'-Concentration im Serum: C_{OH} g aeq. in 1 l.	Gemessen mit der Elektrode	Gefundene elektromotor. Kraft: π_2 Volt	Aus π_2 berechnete HO'-Concentration im Serum: C'_{OH} g aeq. in 1 l.	$\pi_1 + \pi_2$	Art des Blutserums
1	H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl	0,2735	$0,326 \times 10^{-7}$	H | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl	0,2991	$0,71 \times 10^{-7}$	0,5726	Pferdeblutserum (1–11)
2	„	0,3032	$1,06 \times 10^{-7}$	„	0,2699	$2,26 \times 10^{-7}$	0,5731	
3	„	0,2846	$0,506 \times 10^{-7}$	„	0,2882	$1,10 \times 10^{-7}$	0,5728	
4	„	0,2828	$0,471 \times 10^{-7}$	„	0,2894	$1,05 \times 10^{-7}$	0,5722	
5	„	0,3069	$1,22 \times 10^{-7}$	„	0,2658	$2,66 \times 10^{-7}$	0,5727	
6	„	0,3071	$1,24 \times 10^{-7}$	„	0,2673	$2,51 \times 10^{-7}$	0,5744	
7	„	0,3111	$1,45 \times 10^{-7}$	„	0,2617	$3,13 \times 10^{-7}$	0,5728	
8	„	0,3086	$1,31 \times 10^{-7}$	„	0,2625	$3,03 \times 10^{-7}$	0,5711	
9	„	0,3078	$1,27 \times 10^{-7}$	„	0,2653	$2,72 \times 10^{-7}$	0,5731	
10	„	0,3165	$1,79 \times 10^{-7}$	„	0,2562	$3,89 \times 10^{-7}$	0,5727	
11	„	0,3178	$1,89 \times 10^{-7}$	„	0,2558	$3,95 \times 10^{-7}$	0,5736	
12	„	0,3347	$3,69 \times 10^{-7}$	„	0,2354	$8,87 \times 10^{-7}$	0,5701	Hundeblutserum

Prüfungen, sowohl der Zuverlässigkeit der technischen Einzelheiten meiner Methodik, die ja mit der Höber'schen nicht ganz identisch war, als auch der Messresultate als Berechnungsbasis für die HO'-Concentration.

Vor Allem habe ich in ähnlicher Weise wie Höber die mit Säure gemessene HO'-Concentration durch Messungen mit Lauge controlirt, da man theoretisch mit letzterer dieselben Werthe erhalten muss wie mit Säure.

Zu diesem Zwecke habe ich in den in Tabelle I angeführten Versuchen jedes Serum auch noch mit einer in $^1/_8$ NaCl gelösten $^1/_{100}$ NaOH gemessen (siehe Columne 5). (Das Verbindungsrohr war, wie bei den Messungen mit Säure, mit einer $^1/_8$ norm. NaCl-Lösung gefüllt.)

Die Anordnung war demnach folgende:

H | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | Serum | H.

Die zur Berechnung der Concentration dienende Gleichung ist aus Gleichung (I) (S. 553) abzuleiten, wenn C_H die Concentration der H$^{\cdot}$-, und C_{OH} die der HO'-Ionen bedeutet:

$$\pi = 0{,}0581 \log \frac{C_{H\ (im\ Serum)}}{C_{H\ (in\ die\ Lauge)}};$$ mit Hülfe der Gleichung II (S. 553).

$$\text{erhält man: } \pi = 0{,}0581 \cdot \frac{\dfrac{0{,}64 \times 10^{-14}}{C_{OH\ (Serum)}}}{\dfrac{0{,}64 \times 10^{-14}}{C_{OH\ (Lauge)}}} = \frac{C_{OH\ (Lauge)}}{C_{OH\ (Serum)}}$$

Ist die Lauge $^1/_{100}$, so wird:

$$\pi = 0{,}0581 \log \frac{10^{-2}}{C_{OH\ (Serum)}}, \text{ also } \log C_{OH} = \frac{\pi}{0{,}0581} - 2.$$

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den Columnen 6 und 7 der Tabelle I angeführt, wo also π_2 die mit $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl erhaltene Potentialdifferenz und C'_{OH} die daraus für das Serum berechnete HO'-Ionenconcentration bedeuten.

Wie ersichtlich, geben die Laugeelektroden ausnahmslos für die OH'-Ionenconcentration etwa doppelt so grosse Werthe wie die Säureelektroden. Der Unterschied entspricht etwa 0,0017 mg Hydroxylionen in 1 l Blutserum.

Auch bei Höber finden wir ähnliche Unterschiede — mit Säure gemessen $C_{OH} = 8 \times 10^{-7}$, mit Lauge gemessen $C_{OH} = 14 \times 10^{-7}$ —, doch nimmt Höber mit Rücksicht auf den absolut geringen Werth der gemessenen Grössen, trotz der etwa 50 % betragenden relativen Differenz derselben, die Uebereinstimmung für genügend an.

Wenn auch die berechneten Grössen thatsächlich sehr geringe Werthe sind und der **absolute** Betrag der Differenz sehr klein ist, so erheischte der Umstand, dass der Unterschied in allen Fällen gleicher Richtung und gleichen relativen Werthes war, eine weitere Untersuchung zur Entscheidung der Frage, ob er bloss die Folge technischer Ungenauigkeiten ist, oder eine principielle Bedeutung besitzt.

IV.

Abgesehen davon, dass die Lösungen stets mit grösster Sorgfalt bereitet, die Messungen so präcis als möglich, mit allen Cautelen ausgeführt wurden, spricht schon folgende Ueberlegung überzeugend dafür, dass der fragliche Unterschied **nicht** die Folge von Messungsfehlern, also nicht der Ausdruck technischer Ungenauigkeiten ist:

Addirt man nämlich für jedes Serum die elektromotorische Kraft der Säure-Blutserumkette (π_1) — zu derjenigen der Lauge-Blutserumkette (π_2) —, so muss man im Sinne des Gesetzes der Spannungsreihe dieselbe elektromotorische Kraft erhalten, als hätte man die Lauge direct mit Säure gemessen, also in unserem Falle Säure und Lauge in folgender Kette gegenübergestellt:

H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl | H.

Diese Kette habe ich auch thatsächlich zusammengestellt und erhielt als Mittel von mehreren Messungen, als Potentialdifferenz, 0,5715 Volt, mit welchem Werthe die berechneten Werthe von $\pi_1 + \pi_2$, welche in der Columne 8 der Tabelle I angeführt sind und die im Mittel 0,5731 Volt ergeben, gut übereinstimmen.

Folglich ergeben die directe Messung und die berechnete Summe $\pi_1 + \pi_2$ genau übereinstimmende Werthe, was jedenfalls dafür spricht, dass sowohl π_1 als n_2 richtig gemessen wurden.

Diese Vergleichung hat aber noch zu einem anderen wichtigen Ergebnisse geführt. Theoretisch müsste nämlich die Kette

H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl | H

annähernd dieselbe elektromotorische Kraft zeigen wie die Kette

H | $^1/_{100}$ HCl | $^1/_{100}$ NaCl | $^1/_{100}$ NaOH | H,

die man nach den oben mitgetheilten Formeln leicht berechnen kann. Diese beträgt 0,5922 Volt. Von diesem theorethischen Werth weichen nun sowohl die Werthe $\pi_1 + \pi_2$ als auch der für die obige mit $^1/_8$ NaCl-Lösungen hergestellte Säure-Laugekette direct

gefundene Werth, die beide etwa 0,572 Volt ergaben, nicht unbeträchtlich ab:

$$0{,}592 - 0{,}572 = 0{,}02 \text{ Volt},$$

was ungefähr einer Differenz von 3,5 % zwischen theoretischem und gemessenem Werth entspricht.

Diese nicht unbedeutende Differenz, die natürlich in Folge der logarithmischen Function einer ziemlich grossen Differenz der H'-Ionenconcentration entsprechen würde, kann nach dem oben Erörterten nicht in Messfehlern ihre Erklärung finden und besitzt um so grösseres Interesse, als sie auch, wie mit Recht zu vermuten war, die Ursache jenes constanten Unterschiedes ist, der zwischen dem mit Säure- und Laugeelektroden gefundenen Hydroxylionengehalt des Blutserums beobachtet wurde.

Eine Verminderung der fraglichen Differenz von 0,02 Volt war durch die Berücksichtigung der Grenzpotentiale zu erwarten, die ja auch bei Anwendung des Bugarszky'schen Verfahrens nicht vollständig eliminirt sind, und zwar um so weniger, je geringer die Differenz zwischen der Concentration des zugesetzten Elektrolyten und der des zu messenden Ions ist. Ich habe also für unsere mit $^1/_8$ NaCl versetzten Säure-Laugekette, sowohl mittelst der Planck'schen wie der Abegg-Bose'schen Gleichung, für die Grenzpotentiale in der Kette folgende Werthe[1]) berechnet:

Für das Potential an der Grenze:

$^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl: 0,0056 Volt,

für das Potential an der Grenze:

$^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl: 0,0030 Volt.

Da diese Diffusionspotentiale dem Polpotentiale entgegengesetzte Richtung haben, vermindern sie den Werth desselben, sind also zu den gemessenen elektromotorischen Kräften als Correction dazuzurechnen, damit sie dem wahren, theoretisch-richtigen Werthe nahe kommen. (Siehe das folgende Schema.)

Richtung des Stromes in der Leitung

H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl | H

0,0056 0,0030

Richtung der Grenzpotentiale

Richtung des Stromes in den Lösungen

1) Die nach den zwei Formeln berechneten Werthe stimmten bis auf eine resp. zwei Einheiten der vierten Decimalstelle überein.

Die gemessene elektromotorische Kraft solch' einer Kettencombination ist, wie wir (S. 560) sahen,

π = 0,5715 Volt, also mit den Grenzpotentialen 0,0086 corrigirt,
0,5801 „ was hinter dem theoretischen Werthe
0,5922 „ noch immer mit
0,0121 „ zurückbleibt.

Durch Berücksichtigung der Grenzpotentialgefälle bessert sich also wohl der Werth, doch bleibt noch immer ein Fehler von etwa 2%.

Natürlich muss man zur Erhöhung der Genauigkeit auch für die Säure- resp. Lauge-Blutserumketten ebenfalls diese Grenzpotentiale bei der Rechnung berücksichtigen. Da ist aber das Diffusionspotential an der Grenze $^1/_8$ NaCl | Blutserum mittelst Berechnung nicht zu ermitteln; es dürfte jedoch jedenfalls sehr gering sein. Für die andere Diffusionsgrenze sind die eben erwähnten Werthe von 0,0056 Volt für die Säurekette und 0,0030 Volt für die Laugekette einzusetzen. Führt man diese Correctur durch, wie ich es für die Sera 1—9 gethan habe, so erhält man die in Tabelle II (S. 563) ersichtlichen Werthe.

Dass sich auch bei den Serumketten die Werthe der Polpotentiale durch die Correctur bessern resp. den theoretischen nähern, ist aus Columne 12 der Tabelle II zu ersehen, in welchen die Werthe $\pi_{c_1} + \pi_{c_2}$ mit dem Werthe 0,0581, dem corrigirten Polpotential der Kette H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl | H, ganz übereinstimmen, dieser bleibt aber, wie schon erwähnt, immer mit 0,02 Volt hinter dem theoretischen Werth zurück. Ebenso sieht man, dass die Differenz zwischen der aus den corrigirten Polpotentialen der Säure- und Lauge-Blutserumketten berechneten HO'-Concentration C_{OH} und C'_{OH} wohl geringer geworden, letzterer aber immer noch ausnahmslos um 60% grösser ist.

Nach alledem bleibt zur Erklärung dieser auch nach der durchgeführten Correctur bestehenden constanten Differenz nur die Annahme, dass die Ursache derselben die chemischen Processe sind, welche der NaCl-Zusatz in den Lösungen, eventuell an den Elektroden erzeugt.

In erster Reihe war zu prüfen, ob die Ursache der Differenz in der Säure- oder in der Laugeelektrode zu suchen ist. Behufs dessen prüfte ich die elektromotorische Kraft verschiedener Kettencombinationen und verglich sie mit dem berechneten theoretischen Werthe. Ich stellte Säuren verschiedener Concentration einander

Tabelle II.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nummer des Serums	Gemessen mit der Elektrode	Gefundene elektromotorische Kraft π_1	Grenzpotential π_s	(π corrigirt mit π_s) π_{c_1}	HO'-Concentration im Blutserum aus π_{c_1} berechnet: C_{OH} g aeq. in 1 l	Gemessen mit der Elektrode	Gefundene elektromotorische Kraft π_2	Grenzpotential π_l	π_2 corrigirt mit π_l π_{c_2}	HO'-Concentration im Blutserum: C_{OH} aus π_{c_2} berechnet g aeq. in 1 l	π_{c_1} + π_{c_2}
		Volt	Volt	Volt			Volt	Volt	Volt		
1	H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl	0,2735	0,0056	0,2791	0,407×10^{-7}	H | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl	0,2991	0,0030	0,3021	0,631×10^{-7}	0,5812
2	„	0,3032	0,0056	0,3088	1,32 ×10^{-7}	„	0,2699	0,0030	0,2729	2,01 ×10^{-7}	0,5817
3	„	0,2846	0,0056	0,2902	0,632×10^{-7}	„	0,2882	0,0030	0,2912	0,973×10^{-7}	0,5814
4	„	0,2828	0,0056	0,2884	0,589×10^{-7}	„	0,2894	0,0030	0,2924	0,927×10^{-7}	0,5808
5	„	0,3069	0,0056	0,3125	1,53 ×10^{-7}	„	0,2658	0,0030	0,2688	2,37 ×10^{-7}	0,5813
6	„	0,3071	0,0056	0,3127	1,54 ×10^{-7}	„	0,2673	0,0030	0,2703	2,23 ×10^{-7}	0,5830
7	„	0,3111	0,0056	0,3167	1,81 ×10^{-7}	„	0,2617	0,0030	0,2647	2,78 ×10^{-7}	0,5814
8	„	0,3086	0,0056	0,3142	1,64 ×10^{-7}	„	0,2625	0,0030	0,2655	2,69 ×10^{-7}	0,5797
9	„	0,3078	0,0056	0,3134	1,59 ×10^{-7}	„	0,2653	0,0030	0,2683	2,41 ×10^{-7}	0,5817

und Laugen verschiedener Concentration gegenüber, ebenso Laugen verschiedener Concentration und Säuren einander gegenüber, und zwar beide mit und ohne NaCl-Zusatz. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle III (S. 565) zusammengestellt.

In der Tabelle bedeuten in der in Columne 4 π_1 das Grenzpotentialgefälle zwischen der ersten Lösung und dem NaCl, in Columne 5 π_2 dasselbe zwischen dem NaCl und der dritten Lösung.

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass erstens sämmtliche Ketten, die keine Lauge enthalten, oder zweitens in denen Lauge ohne Zusatz von NaCl angewendet ist, eine mit dem theoretischen Werthe (Columne 8) beinahe gleiche elektromotorische Kraft ergeben. Sobald aber die Lauge in Kochsalzlösung gelöst ist, erscheint ein Fehler von 0,0121 Volt (Columne 10), und zwar bleibt die gemessene elektromotorische Kraft um diesen Werth hinter dem theoretischen. War dagegen nur die Salzsäure in NaCl-Lösung, so erhielt ich den theoretischen Werth.

Das Resultat dieser Versuchsreihe ist also die Erkenntniss, dass die Fehlerquelle resp. die Ursache der besprochenen constanten Differenz zwischen Säure- und Laugenketten in den mit NaCl-Lösung bereiteten NaOH-Elektroden zu suchen und dadurch bedingt ist, dass Zusatz von NaCl zur NaOH-Lösung die Hydroxylionconcentration in der letzteren erniedrigt.

Was kann nun diese Erniedrigung beim Zusatze von NaCl verursachen? Man könnte vor Allem an Carbonatgehalt des gelösten NaOH, Kohlensäuregehalt des Wassers und minimalen Säuregehalt der Kochsalzlösung denken. Was letztere betrifft, so hat sie sich mit den empfindlichsten Indicatoren und auch, wie später ersichtlich, elektromotorisch als ganz neutral erwiesen. Um die störende Wirkung der Kohlensäure auszuschliessen, stellte ich einerseits die Elektroden statt NaOH mit $Ba(OH)_2$ her, welches sozusagen als kohlensäurefrei zu betrachten ist, andererseits verwendete ich eine von Herrn Prof. Dr. L. Winkler selbst mit ganz besonderen Cautelen hergestellte absolut kohlensäurefreie NaOH-Kochsalzlösung. Doch die auf diese Weise hergestellten Elektroden ergaben mit den früheren vollkommen übereinstimmende Resultate.

Also ist die Veränderung der Laugeconcentration in Folge der Kohlensäurewirkung sicher auszuschliessen. Es ist also ganz

Tabelle III.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bezeichnung der Kette	Zusammensetzung der Ketten	Gefundene elektromotorische Kraft π	Diffusionspotential an der 1. Grenze π_1	Diffusionspotential an der 2. Grenze π_2	$\pi_1 + \pi_2$	Polpotential π corrigirt mit den Grenzpotentialen $\pi_1 + \pi_2$ π_c	Berechneter theoretischer Werth von π_c	Differenz zwischen corrig. gefunden. u. berechn. Werth von π_c
		Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt
I	H | 1/1000 HCl | 1/1000 NaCl | 1/1000 NaOH | H	0,4284	0,0318	0,0174	0,0492	0,4776	0,4761	+ 0,0015
II	H | 1/100 HCl | 1/100 NaCl | 1/100 NaOH | H	0,5367	0,0325	0,0178	0,0503	0,5870	0,5920	— 0,0050
III	H | 1/1000 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/1000 NaOH | H	0,4553	0,0010	0,0210	0,0220	0,4773	0,4761	+ 0,0012
IV	H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/100 NaOH | H	0,5807	0,0056	0,0048	0,0104	0,5911	0,5920	— 0,0009
V	H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/100 NaOH | H	0,5841	0,0056	0,0048	0,0104	0,5945	0,5920	+ 0,0025
VI	H | 1/1000 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/100 NaOH | H	0,5275	0,0010	0,0048	0,0058	0,5333	0,5342	— 0,0009
VII	H | 1/100 HCl | 1/8 NaCl | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | H	0,5565	0,0215	0,0031	0,0246	0,5811	0,5920	— 0,0109
VIII	H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | H	0,5715	0,0056	0,0031	0,0087	0,5802	0,5920	— 0,0118
IX	H | 1/1000 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | H	0,5155	0,0010	0,0031	0,0041	0,5196	0,5342	— 0,0146
X	H | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/1000 NaOH in 1/8 NaCl | H	0,0930	0,0030	0,0010	0,0020	0,0950	0,0580	— 0,0370
XI	H | 1/1000 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/1000 HCl in 1/8 NaCl | H	0,0540	0,0056	0,0010	0,0046	0,0586	0,0581	+ 0,0005

zweifellos, dass der Zusatz von NaCl zur Lauge den Fehler verursacht.

Das führte mich zur Annahme, dass das in Ueberschuss zur Lauge gegebene Kochsalz, in Folge der Massenwirkung die Dissociation des gelösten NaOH zurückdrängend, die Concentration der Hydroxylionen herabdrückt. Zur Prüfung dieser Annahme machte ich mit NaOH- und NaCl-Lösungen, sowie mit Gemengen dieser Lösungen Leitfähigkeitsbestimmungen, doch ändert sich beim Zusatz der $^1/_{100}$ norm. Lauge die Leitfähigkeit der verhältnissmässig stark concentrirten $^1/_8$ NaCl-Lösung nur in so geringem Maasse, dass man daraus auf die Veränderung der Dissociation nicht sicher folgern kann. Dazu kommt noch, dass das Gesetz der Massenwirkung auf die stark dissociirenden Elektrolytgemenge nicht direct anwendbar ist, und auch die Gesetzmässigkeiten der Leitfähigkeit einer solchen Elektrolytenmischung nicht mit der erwünschten Genauigkeit bekannt sind.

Ich habe auch noch den Gefrierpunkt von Lauge- und Kochsalzgemengen bestimmt, um aus der Gefrierpunktdepression eventuell Folgerungen auf die Verringerung der Dissociation oder möglicher Weise auf Bildung von complexen Molekülen zu ziehen. Doch bekam ich keine nennenswerthe Differenz gegenüber dem (ohne Dissociationsveränderung berechneten) theoretischen Werthe.

Ich kann also die ganz sicher constatirte Abnahme der elektromotorischen Kraft der NaOH-Kette nach NaCl-Zusatz vorderhand nicht erklären, resp. ich konnte in der Lauge keine Veränderungen nachweisen, welche diese Abnahme erklären würden. Es ist auch nicht unmöglich, dass die Lauge-Kochsalzlösung auf die in der Wasserstoffelektrode ablaufenden Processe eine ähnliche störende Wirkung ausübt, wie sie Höber[1]) für die Chloride bei Sauerstoffelektroden nachgewiesen hat.

Wie dem auch sei, so viel glaube ich aus den mitgetheilten Versuchen folgern zu können, dass der NaCl-Zusatz bloss die HO'- (also auch die H˙-Concentration) der Lauge bemerkbar verändert, die der HCl- jedoch nicht. Unter dieser Annahme berechnet sich aus der oben (S. 562) mit Berücksichtigung der Grenzpotentiale zu 0,581 Volt gefundenen elektromotorischen Kraft der Kette

H | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl | H

1) Höber, Ueber Platinkatalyse. Dieses Archiv Bd. 82. 1900.

der Hydroxylionengehalt C_{OH} der Lösung $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl zu 0,0064 g aequ. pro Liter statt der zu erwartenden 0,010. Diese Veränderung hat also der NaCl-Zusatz verursacht, d. h. die HO′-Ionenconcentration entspricht nicht einer $^1/_{100}$- sondern $^{0,64}/_{100}$-Lösung.

Nehmen wir nun letzteren Werth als Concentration der Hydroxylionen in der Lösung: $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl, so werden naturgemäss die mit dieser Lösung gewonnenen HO′-Werthe vollkommen mit den mittelst $^1/_{100}$ HCl- in $^1/_8$ NaCl-Lösung gewonnenen übereinstimmen. Die richtigen Werthe für die HO′-Concentration geben also die HCl-Ketten bei Berücksichtigung der Diffusionspotentiale auch mit NaCl-Zusatz unmittelbar, mit der angegebenen Berechnung resp. Correctur können aber auch die Kochsalzlaugeketten zu den Controlmessungen, oder doch mindestens behufs Ausschliessung der Messungs- und Rechnungsfehler gebraucht werden.

Diese Thatsachen sind am klarsten durch die in Tabelle IV (S. 568) angeführten zwei Versuchsreihen demonstrirbar.

In der ersten Versuchsreihe habe ich einestheils eine möglichst chemisch reine neutrale NaCl-Lösung mittelst $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl, dann mittelst $^1/_{100}$ HCl allein, mittelst $^1/_{100}$ NaOH und endlich mittelst einer $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl-Lösung, in der zweiten Pferdeblutserum in ganz ähnlichen Combinationen gemessen.

Wie ersichtlich, bekommen wir für das Polpotential der Kette, also für den HO′-Ionengehalt der NaCl-Lösung beinahe dieselben Werthe, wenn wir letztere mit reiner Säure oder Lauge (also ohne NaCl-Zusatz), oder wenn wir mit $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl messen (1., 2. und 3. Versuch). Nehmen wir aber eine $^1/_{100}$ NaOH-in $^1/_8$ NaCl-Mischung, so verändert sich sofort der Werth (4. Versuch). Rechnen wir aber zur gefundenen elektromotorischen Kraft die oben (S. 564) erwähnten 0,0121 Volt (5. Versuch), oder wir nehmen, was dem vollkommen entspricht, die Concentration der Hydroxylionen in der Kochsalzlaugelösung statt 0,01 zu 0,0064 an, da verschwindet der Fehler sofort[1]).

---

1) Addirt man die corrig. Werthe für π (Columne 5) der Versuche 1 und 3 resp. 2 und 3, so erhält man 0,5927 bezw. 0,5936 Volt, die mit dem S. 562 erwähnten theoretischen Werthe 0,592 gut übereinstimmen. Die Versuchsreihe 1 der Tabelle IV beweist zugleich, dass die Messung der elektromotorischen Kraft behufs Bestimmung der H·- und HO′-Ionenconcentration auch bei nahe neutralen Lösungen gut anwendbar ist. Nur nebenbei bemerke ich noch, dass z. B. aus den Daten der Versuchsreihe II die Dissociationsconstante des Wassers, die Kohl-

Tabelle IV.

[illegible]	2 Zusammensetzung der Ketten	3 Gefundene elektromotorische Kraft π Volt	4 Diffusionspotential π_d Volt	5 π corrigirt mit dem Diffusionspotential [illegible]	6 [illegible]
	Versuchsreihe I. (Reine Lösungen.)				[illegible]
1	H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | H	0,2790	0,0050	[illegible]	[illegible]
2	H | 1/100 HCl | 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | H	0,2040	0,0915	[illegible]	[illegible]
3	H | 1/100 NaOH | 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | H	0,3024	0,0048	[illegible]	[illegible]
4	H | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | H	0,2910	0,0041	[illegible]	[illegible]
5	H | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | H	0,2910	0,0031	[illegible]	[illegible]
	Versuchsreihe II. (Blutserum.)				Im Blutserum
1	H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | Serum | H	0,3080	0,0050	[illegible]	1,7 [illegible]
2	H | 1/100 HCl | 1/8 NaCl | Serum | H	0,2970	0,0915	[illegible]	1,0 [illegible]
3	H | 1/100 NaOH | 1/8 NaCl | Serum | H	0,2702	0,0048	[illegible]	1,0 [illegible]
4	H | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | Serum | H	0,2618	0,031	[illegible]	2,8 [illegible]
5	H | 1/100 NaOH in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | Serum | H	0,2618	0,031	0,2770[1]	1,7 [illegible]

1) Ausser dem Diffusionspotential noch mit 0,0121 Volt (S. 564) corrigirt.

Ganz dasselbe zeigt die Versuchsreihe mit dem Serum und berechtigt zu dem Schluss, dass man mit Kochsalz-Säure-, mit reinen HCl- und mit reinen NaOH-Elektroden identische und mit Berücksichtigung der Diffusionspotentiale — bis auf einen Maximalfehler von etwa 5 % — richtige Werthe für den HO'-Gehalt des Serums erhalten kann. Benutzt man für die 1/100 NaOH- in 1/8 NaCl-Elektroden auch die Seite 564 abgeleitete constante Correctur von 0,0121 Volt, so erhält man auch mit dieser Elektrode richtige Werthe[1]).

V.

Fasse ich nun das Ergebniss aller dieser Prüfungen und Controlen zusammen, so glaube ich zu der Behauptung berechtigt zu sein, dass die Werthe für die Hydroxylionenconcentration des Serums, die meine Versuche ergaben, den wahren Werthen mindestens sehr nahe stehen, dass also die Differenz zwischen meinen und Höber's Werthen nicht durch einen Fehler in meinen Messungen oder Berechnungen verursacht sein kann. Die Ursache musste ich demnach in der übrigen Versuchsanordnung Höber's suchen, die in zwei Punkten nicht unwesentlich von der meinigen abwich.

Erstens arbeitete Höber mit an der Luft defibrinirtem Blute, während ich meine Versuche mit Serum ausführte. Auch ich habe einige Versuche mit defibrinirtem Blute gemacht, fand darin die Hydroxylionenconcentration wohl grösser als jene des aus demselben Blute gewonnenen Serums, doch war die Differenz sehr gering, jeden-

---

rausch und Heydweiller, Wiss und Arrhenius auf verschiedenen Wegen ermittelten, leicht berechenbar ist. Der elektromotorischen Kraft des Elementes: H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/100 NaOH | H entspricht die Summe der corrig. π des 1. und 3. Versuches (Columne 5), die 0,5927 Volt ausmacht. In der 1/100 norm. NaOH-Lösung ist die Concentration der Hydroxylionen aus der Nernst'schen Gleichung (S. 553) berechenbar. Wenn nämlich C_H die Concentration der H·-Ionen in der 1/100 HCl und C'_H in der 1/100 NaOH bedeutet, so ist: $0,5927 = \pi = 0,0581 \log \frac{C_H}{C'_H} = 0,0581 \log \frac{10^{-2}}{C'_H}$, woraus $C'_H = 0,63 \times 10^{-12}$. Die Lauge als ganz dissociirt betrachtet, ist die Hydroxylionenconcentration $C'_{OH} = 10^{-2} = (0,01)$, folglich $C'_{OH} \cdot C'_H = 0,63 \times 10^{-12} \times 10^{-2} = 0,63 \times 10^{-14}$ = Dissociationsconstante des Wassers, was mit dem auf Grund sehr vieler Messungen gewonnenen Mittelwerthe: $0,64 \times 10^{-14}$ ganz übereinstimmt.

1) Wenn man in der Serumversuchsreihe wie oben für die Versuchsreihe 1 die corrig. Werthe für π der Versuchsreihe 1 und 3 resp. 2 und 3 addirt, erhält man 0,590 resp. 0,594 Volt, was mit den theoretischen 0,592 übereinstimmt.

Tabelle V.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
		Ohne H-Durchströmung		1/2 Stunde mit H-Strom behandelt	
Nummer	Zusammensetzung der Kette	gefundenes Polpotential π	Concentration der HO′ im Serum g aeq. C_{OH}	gefundenes Polpotential π_1	Concentration der HO′ im Serum C'_{OH}
1	H | 1/1000 $KHCO_3$ in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | H	0,293	$0{,}8 \times 10^{-7}$	0,334	$3{,}6 \times 10^{-7}$
2[1]	H | 1/100 HCl | 1/8 NaCl | Hundeserum | H	0,317	$2{,}4 \times 10^{-7}$	0,330	$4{,}1 \times 10^{-7}$
3[1]	H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | Hundeserum | H	0,330	$2{,}4 \times 10^{-7}$	0,344	$4{,}1 \times 10^{-7}$
4	H | 1/100 HCl in 1/8 NaCl | 1/8 NaCl | Pferdeserum | H	0,304	$1{,}1 \times 10^{-7}$	0,350	$4{,}6 \times 10^{-7}$
5	H | Schweineserum | 1/8 NaCl | 1/100 HCl | in 1/8 NaCl | H . . .	0,309	$1{,}4 \times 10^{-7}$	0,356	$5{,}7 \times 10^{-7}$

1) Zwei Proben desselben Serums.

falls kaum nennenswerth im Verhältnisse zur Differenz gegenüber den Höber'schen Werthen und ist wahrscheinlich dem partiellen Austreiben der gelösten CO_2 durch das Defibriniren zuzuschreiben.

Zweitens leitete Höber vor und während der Messung stundenlang (oft 18 Stunden) Wasserstoffgas durch das Blut in der Elektrode, um den absorbirten Sauerstoff auszutreiben und es mit Wasserstoff zu sättigen. Ich glaube beweisen zu können, dass dies die eigentliche Ursache der Differenz ist, denn dieses Verfahren kann, wie aus folgender Ueberlegung hervorgeht, zur Quelle grosser Fehler werden:

Die im Blute gelösten Bicarbonate dissociiren, wenn auch in geringem Grade nach den folgenden Gleichungen:

$$NaHCO_3 \rightleftarrows Na^{\cdot} + HCO'_3 \text{ und } HCO'_3 \rightleftarrows CO_2 + OH';$$

für die zweite Gleichung gilt nach dem Gesetze der Massenwirkung (k = Dissociationsconstante, C = Concentration):

$$k \cdot C_{HCO_3} = C_{CO_2} \cdot C_{OH}.$$

Treiben wir nun mittelst Wasserstoffstromes die CO_2 aus, so vermindert sich die Concentration der HCO'_3-Ionen und wächst jene der HO', d. h. die Hydrolyse nimmt zu, dabei wird von Neuem CO_2 frei, durch deren Austreiben wir die Hydrolyse stätig steigern. Folglich treiben wir auf diese Weise allmählich nicht nur die einfach absorbirte CO_2 aus, sondern auch die locker gebundene Kohlensäure der Bicarbonate. Für die Stichhaltigkeit dieser Erklärung sprechen die in Tab. V angegebenen Versuche:

Jedes Serum wurde mit je zwei Elektroden gemessen, in der einen Elektrode wurde durch das Serum nur so viel H durchgeleitet, als zum Füllen der Elektrode nöthig war (1—2 ccm); die mit dieser Elektrode gewonnenen Werthe enthalten die Columnen 3 und 4. In der anderen Elektrode wurde vor der Messung eine halbe Stunde lang H durch das Serum geleitet; die erhaltenen Werthe sind π' resp. C'_{OH} (Columne 5 und 6). Letztere sind ausnahmslos nicht unbedeutend grösser als π und C_{OH} (siehe Tabelle V).

Ganz besonders hebe ich hervor, dass sich die in der Tabelle V angeführten elektromotorischen Kräfte, auch bei nach Stunden erfolgter Wiederholung der Messungen, constant erwiesen, so dass man die Differenz zwischen den beiden elektromotorischen Kräften π und π' nicht eventuell dem Umstande zuschreiben kann, dass sich das Gleichgewicht (Sättigung mit Wasserstoff) noch nicht einstellte.

Dass aber die Ursache der Differenz das Austreiben der

Kohlensäure durch den Wasserstoffstrom und nicht das Entfernen des absorbirten Sauerstoffes ist, beweisen folgende Versuche:

Mit dem Serum füllte ich zwei Gaselektroden. In der einen liess ich durch das Serum nicht reinen Wasserstoff, sondern ein Gemenge von H und CO_2 strömen, in welchem die Spannung der CO_2, der im Serum befindlichen CO_2 ungefähr entsprach; das Gasgemenge bestand aus sechs Volumprocenten CO_2 und 94 % H. Mit demselben Gasgemenge füllte ich nicht nur die das Serum enthaltende Elektrode, sondern auch die Säureelektrode. Die Kette hatte also folgenden Aufbau:

H mit 6 % CO_2 | $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl | $^1/_8$ NaCl | Serum | H mit 6 % CO_2 und die elektromotorische Kraft $\pi = 0{,}3010$ Volt, dem eine Hydroxylionenconcentration des Serums von $1{,}3 \times 10^{-7}$ entspricht[1]).

Die andere mit demselben Blutserum gefüllte Elektrode, sowie die Säureelektrode wurden in der üblichen Weise mit reinem H — ohne vorherigem Durchleiten von H — gefüllt; sonst hatte die Kette dieselbe Zusammensetzung wie die frühere. Die mit dieser erhaltene elektromotorische Kraft war

$$\pi = 0{,}3082 \text{ Volt, also } C_{OH} = 1{,}5 \times 10^{-7}.$$

Beide Elektroden ergaben demnach dieselbe HO'-Concentration, trotzdem in der ersteren Elektrode durch das Durchleiten des Gasgemenges der absorbirte O_2 entfernt wurde, in der zweiten dagegen kein Gas durchgeleitet war. Folglich verursacht das Entfernen oder Nicht-Entfernen des gelösten Sauerstoffes keine Differenz in den Werthen.

Dasselbe Resultat ergab der folgende Versuch:

Serum:	π	C_{OH}
ohne Wasserstoffdurchleitung . .	0,3083 Volt	$1{,}3 \times 10^{-7}$
Serum (eine Stunde H + CO_2 durchgeleitet)	0,3074 „	$1{,}3 - 10^{-7}$
Serum (reiner H eine Stunde lang durchgeleitet)	0,3578 „	$8{,}9 \times 10^{-7}$

Folglich können wir ohne jeden Fehler die Methodik dadurch vereinfachen, dass wir das Durchströmen des Wasserstoffes (also das Entfernen des gelösten Sauerstoffes) weglassen.

Freilich müssen wir bedenken, dass ein wenig Wasserstoff das Serum während der Füllung der Elektrode mit H doch durchströmt,

---

1) Die Benützung solch' einer Gasmischung empfahl auch Höber. Uebrigens waren meine Experimente zur Zeit, als Höber's Buch erschien, schon vollendet.

es daher nicht ausgeschlossen ist, dass es, wenn gleich auch nur in geringem Maasse, CO_2 austreibt.

Zur Entscheidung dessen, ob dies in bemerkbarer Menge geschieht, füllte ich zwei Elektroden mit demselben Serum; in die eine leitete ich möglichst wenig, in die andere möglichst viel H (ca. zehn Mal so viel) und bestimmte mit beiden die elektromotorische Kraft; Messelektrode war $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl:

	π	C_{OH}
Serum mit viel Wasserstoff:	0,341 Volt	$4,7 \times 10^{-7}$
„ „ wenig „	0,340 „	$4,5 \times 10^{-7}$.

Aehnliche Versuche führte ich noch in drei Fällen stets mit demselben Resultate aus.

Das einfache Füllen der Elektrode mit H bedingt also keinen bemerkbaren Verlust an CO_2. Geht aber durch einen Wasserstoffstrom mehr CO_2 verloren, so erhöht sich der HO'-Gehalt.

Verlust von Kohlensäure stellt sich jedoch nicht nur beim Durchströmen von H ein, sondern auch, wenn Blut oder Serum mit Luft in Berührung kommt; so dass, wenn wir den richtigen Werth der Hydroxylionenconcentration des Serums kennen lernen wollen, wir schon beim Entnehmen des Blutes dafür sorgen müssen, dass es mit Luft nicht in Berührung kommt. Darum fing ich in allen meinen Versuchen das unmittelbar aus einer Arterie oder Vene ausfliessende Blut, wie es in unserem Institute gebräuchlich ist, unter ganz neutralem Paraffinöl auf und liess es so ruhig stehen und gerinnen. Uebrigens scheint diese Vorsichtsmaassregel für die Zwecke der HO'-Messungen nicht unbedingt nothwendig. Ich erhielt nämlich neuerdings bei einem Serum aus ohne Oel aufgefangenem Blute, welches aber ebenso ruhig an einem kühlen Orte stehen gelassen und die spontane Gerinnung abgewartet wurde, wie das unter Paraffinöl aufgefangene Blut, dieselben Werthe wie beim Serum aus letzterem.

Dem gegenüber muss natürlich das an der Luft erfolgte Defibriniren (durch Schütteln, Schlagen) natürlich eine Erhöhung der Concentration verursachen (S. 569).

Aus all' dem folgere ich, dass sich die zwischen meinen und Höber's Werthen bestehende Differenz rein auf die Methodik zurückführen lässt, und ich glaube nach allen angeführten Versuchen zur Annahme berechtigt zu sein, dass meine Werthe die richtigeren sind.

Ich kann also auch nach allen Controlversuchen nur wiederholen, dass nach den übereinstimmenden Ergebnissen meiner Versuche die Hydroxylionenconcentration des Blutserums von Pferd, Hund und Schwein 1×10^{-7} bis 3×10^{-7} normal ist, was annähernd der Hydroxylionenconcentration des destillirten Wassers entspricht, d. h. das Blutserum ist neutral.

VI.

Zum Schlusse muss ich noch auf zwei eventuelle Einwände gegen diesen Schluss reflectiren. Der eine könnte sein, dass sich während der langen Zeit, meist 24 Stunden, die zwischen Blutentnahme und Messung liegen, solche Veränderungen im Blutserum sich einstellen können, die den Hydroxylionengehalt bedeutend beeinflussen. Diesem Einwande kann ich mit der Erfahrung begegnen, dass die elektromotorische Kraft dieselbe war, ganz gleich, ob ich ein Serum maass, das ich gleich nach dem Gerinnen durch Centrifugiren gewann, oder eines, das 1—2 Tage unter Paraffinöl stand; im ersten Falle führte ich auch die Messung möglichst rasch nach der Füllung der Elektrode (4 Stunden) aus:

I.	Serum 6 Stunden nach der Blutentnahme mit $^1/_{00}$ HCl in $^1/_8$ NaCl gemessen . . .	$\pi = 0{,}3083$ Volt
	Serum gemessen 36 Stunden nach der Blutentnahme, in einer 28 Stunden nach derselben gefüllten Elektrode	$\pi = 0{,}3067$ „
II.	Serum 6 Stunden nach der Blutentnahme gemessen	$\pi = 0{,}2618$ „
	Nach 36 Stunden	$\pi = 0{,}2624$ „
III.	24 Stunden nach der Blutentnahme . .	$\pi = 0{,}2619$ „
	48 „ „ „ „ . .	$\pi = 0{,}2579$ „

3—4 Tage nach der Blutentnahme fängt die Hydroxylionenconcentration an stark abzunehmen, und die Reaction geht bald in eine saure über. Jedenfalls ist es zweckmässig, die Messungen je eher nach der Blutentnahme anzustellen. Ich bemerke, dass sich diese Daten auf Sera beziehen, die ohne conservirende Mittel aufbewahrt wurden. Bei Zugabe von Thymol, welches übrigens, wie ich mich überzeugte, die Bestimmung der HO′-Concentration gar nicht stört, lässt sich die Säuerung bedeutend hinausschieben.

Der zweite mögliche Einwand, den auch Höber erwähnt, wäre, dass, wenn auch das Serum bei Zimmertemperatur solche Werthe gibt, es

noch fraglich ist, ob sich bei Körpertemperatur die Hydroxylionen-concentration nicht vergrössert, was ein Alkalisch-werden bedeuten würde. Zur Beantwortung dieser Frage machte ich einige Experimente mit Ketten bei Körpertemperatur und verglich ihre elektromotorische Kraft mit der bei Zimmertemperatur gemessenen.

Ein Serum ergab z. B.

bei 20° C. (mit $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl gemessen) . . . . $\pi = 0{,}266$ Volt

bei 40° C. (mit $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl gemessen) . . . . $\pi = 0{,}276$ „ Diff. 0,010 V.

Ein anderes Serum ergab:

bei 20° C. (mit $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl gemessen) . . . . $\pi = 0{,}297$ „

bei 40° C. (mit $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl gemessen) . . . . $\pi = 0{,}308$ „ Diff. 0,011 V.

Also entspricht einer Temperaturdifferenz von 20° C. eine Differenz der elektromotorischen Kraft von ca. 0,010 Volt, d. h. mit jedem Temperaturgrad verändert sich die elektromotorische Kraft in einem Säure-Serumelement ungefähr um $^1/_2$ Millivolt[1]).

Die Berechnung der C_{OH} aus diesen elektromotorischen Kräften ist genug complicirt, denn mit der Temperatur verändert sich die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen, damit die Grenzpotentiale und die Dissociation aller Lösungen; eben desshalb berechnete ich vorläufig die Hydroxylionencentration nicht. Zur Orientirung habe ich aber berechnet, um wieviel sich die elektromotorische Kraft bei Erwärmung von 20° auf 40° verändern würde, wenn an Stelle des Serums, welches also bei Zimmertemperatur neutral ist, eine vollkommen neutrale NaCl-Lösung wäre.

Mit $^1/_{100}$ HCl gemessen gibt diese: $\pi = 0{,}0002\ T \log \frac{10^{-2}}{0{,}8 \times 10^{-7}}$.
Da bei 18° die Dissociationsconstante des Wassers: $k = C_{OH} \cdot C_H = 0{,}64 \times 10^{-14}$ beträgt, also $C_H = C_{OH} = 0{,}8 \times 10^{-7}$ ist und für $t = 20°$ C. $T = t + 273 = 293$ ist, so wird $\pi_{20} = 0{,}0586 \log \frac{10^5}{0{,}8} = 0{,}2987$ Volt.

Bei 40° C. ist die Dissociationsconstante des Wassers $k = C_{OH} \cdot C_H = 1{,}85 \times 10^{-14}$, also $C_H = C_{OH} = 1{,}4 \times 10^{-7}$, so dass man,

---

1) Folglich beeinflusst die Veränderung der Zimmertemperatur um einige Grade, in keinem nennenswerthen Maasse die Resultate.

in ähnlicher Weise wie oben berechnet, für $\pi_{40} = 0,3046$ Volt erhält.

Die Differenz $\pi_{40} - \pi_{20} = 0,3046 - 0,2987$ beträgt also 0,0052 Volt.

Wir sahen, dass sich das Potential der Blutserumkette bei einer Erwärmung von 20° auf 40° um 0,010 Volt verändert, was bei den gemessenem 0,3 Volt 3,3% bedeutet; käme nun an die Stelle des Serums eine neutrale Kochsalzlösung, so würde die Veränderung nach obiger Rechnung ca. 0,005 Volt, d. h. 1,7% ausmachen, so dass sämmtliche übrigen Veränderungen in der Kette bei einer Temperaturdifferenz von 20° C. die elektromotorische Kraft nur um ca. 1,6% vergrössern.

Das berechtigt zu der Folgerung, dass die chemische Reaction des Serums auch bei Körpertemperatur neutral ist.

Die Ergebnisse meiner Versuche kann ich in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Die Hydroxylionenconcentration des Serums ist bei Zimmertemperatur 1—3 zehnmillionstel normal, folglich ist das Serum als nahe vollkommen neutral zu betrachten.
2. Zur Messung des Hydroxylionengehaltes des Serums sind die Wasserstoffelektroden $^1/_{100}$ HCl, $^1/_{100}$ NaOH, $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl und $^1/_{100}$ NaOH in $^1/_8$ NaCl gleich gut geeignet, nur muss man auch bei den Elektroden mit NaCl-Zusatz die berechenbaren Diffusionspotentiale berücksichtigen und ausserdem bei der letzten Elektrode noch eine besondere Correction anbringen.
3. Das Entfernen des im Serum gelösten Sauerstoffes ist überflüssig.
4. Längeres Durchströmenlassen des Serums mit Sauerstoff ist im Stande, die Hydroxylionenconcentration bedeutend zu steigern und so über den ursprünglichen HO'-Gehalt des Serums zu täuschen.
5. Die Reaction des aus dem vorsichtig aufgefangenen und aufbewahrten Blute austretenden Serums verändert sich 1—2 Tage nicht merkbar.
6. Die Reaction des Serums ist auch bei Körpertemperatur neutral.

Die Untersuchungen führte ich auf Anregung und unter Leitung des Herrn Professor F. Tangl aus.

(Aus dem physiol. Institute der thierärztl. Hochschule in Budapest.
Vorstand: Prof. Dr. F. Tangl.)

Ueber die molekularen Concentrationsverhältnisse des Blutserums der Schwangeren, Kreissenden und Wöchnerinnen und des Fruchtwassers.

Von

Dr. **G. Farkas**, I. Assistent am physiol. Institute der thierärztl. Hochschule

und

Dr. **E. Scipiades**, II. Assistent an der II. Frauenklinik der Universität.

Seit der Veröffentlichung der Untersuchungen von Bugarszky[1]) und Tangl wurden ähnliche Analysen des menschlichen Blutserums nur noch durch Bousquet[2]) und Viola[3]) vorgenommen. Bousquets Berechnungen sind jedoch bezüglich der Concentration der Elektrolyte nicht richtig. Viola zog wieder bei seinen aus der Messung der elektrischen Leitfähigkeit berechneten Resultate den die Leitfähigkeit herabsetzenden Einfluss des Eiweisses nicht in Betracht. Man kann daher behaupten, dass mit menschlichem Blutserum bislang noch keine vollständige osmotische Analyse vorgenommen wurde.

Was die Beschaffung unseres Untersuchungsmaterials betrifft, bemerken wir Folgendes:

Die Untersuchungen wurden mit dem Blute von annähernd im gleichen Alter stehenden 18—25 jährigen und unter vollkommen gleichen Verhältnissen lebenden und auch gleich genährten Frauen vorgenommen. Das Blut (40—100 ccm) wurde durch Venaepunction am Unterarm gewonnen, unter Paraffinöl aufgefangen und an

---

1) Bugarszky, Beiträge zu den mol. Concentrationsverhältnissen physiologischer Flüssigkeiten. Pflüger's Archiv Bd. 68. 1897. — Bugarszky und Tangl, Physikalisch-chemische Untersuchungen über die mol. Concentrationsverhältnisse des Blutserums. Pflüger's Archiv Bd. 72. 1898.

2) Bousquet, Recherches cryoscopiques sur le serum sanguin. Paris 1899.

3) Viola, Rivista veneta de science med. 1901.

einem kühlen Orte bis zur Abscheidung des Serums ruhig stehen gelassen.

Das Fruchtwasser wurde durch Punction der Eihaut vor der Schamspalte gewonnen; wenn dies nicht möglich war, wurde die Blase mittelst Röhrenspeculums in situ eingestellt und mit einem Troicart pungirt, um das Fruchtwasser ganz rein zu erhalten.

Bezüglich der Methodik unserer Untersuchungen wollen wir uns nur auf die Betonung der wesentlichsten Punkte beschränken.

Mit Hülfe der physikalischen Methoden bestimmten wir den Gefrierpunkt, die elektrische Leitfähigkeit und die elektromotorische Kraft gegenüber einer Säure von bekannter Concentration.

Die Bestimmung des Gefrierpunktes wurde mit dem Beckmann'schen Apparat — mit sorgfältigem Ausschluss sämmtlicher Fehlerquellen — vorgenommen. Die Mischung besorgte im vollkommen verschlossenen Gefriergefäss ein elektromagnetischer Rührer, dessen gleichmässige Bewegung ein in den Stromkreis eingeschaltetes Metronom sicherte; den Strom lieferte ein Accumulator, und um die Entstehung von Funken zu verhindern, wurde im Nebenschluss zum Metronom ein elektrolytischer Condensator eingeschaltet[1]). Während der Messungen war der Kryohydrat auf die Temperatur von —3° C. eingestellt, und die Unterkühlung des Serums und des Fruchtwassers überschritt nie 0,5°. Die Temperatur wurde immer vier Mal abgelesen: zwei Mal bei aufsteigender und zwei Mal bei absteigender Quecksilbersäule, und dann das Mittel genommen. Der Nullpunkt des Thermometers wurde natürlich sowohl vor als nach den Messungen controlirt. Eine Correction der abgelesenen Thermometergrade war nicht nöthig, da uns ein an der technisch-physikalischen Reichsanstalt in Charlottenburg geprüftes Thermometer zur Verfügung stand, dessen Correctionswerthe im Bereiche der benützten Scalentheile ausser Acht gelassen werden konnten. Zum Gefrieren wurden stets 10 ccm Flüssigkeit genommen.

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit geschah in einem bis auf 0,01—0,02° C. constant auf 18° C. erwärmten Wasserbade. Die Lösungen befanden sich vor der Messung 2—4 Stunden lang in diesem Bade. Die benützten Elektroden (Tauchelektroden)

1) Ostwald-Luther, Hand- und Hülfsbuch zur Ausführung physikochemischer Messungen. 2. Aufl. Leipzig, S. 295.

2) Ibid. S. 397.

wurden in ein 5 ccm Serum resp. Fruchtwasser enthaltendes Reagenzglas getaucht, so, dass die Platinplatten vollkommen mit Flüssigkeit umgeben waren. (Wenn wir daher die zum Ausspülen des Reagenzglases und zum Anfeuchten der Elektroden nöthige Flüssigkeit, 1—2 ccm, hinzurechnen, sind zur Bestimmung der Leitfähigkeit im Ganzen 6—7 ccm genügend.) Im Uebrigen wurde die Messung nach Kohlrausch ausgeführt, und zwar mit zwei verschiedenen Widerständen (10 und 100 Ohm) und mit Umschaltung auf beiden Seiten der Messbrücke; so erhielten wir vier Werthe, aus welchen wir das Mittel nahmen. Die Leitfähigkeit ist in den nunmehr allgemein acceptirten absoluten $\frac{1}{\text{Ohm-cm}}$-Einheiten ausgedrückt.

Die berechnete specifische Leitfähigkeit ($\varkappa$) musste dann nach den Eiweissgehalten corrigirt werden. Nach Bugarszky und Tangl setzt je 1 % Eiweiss die Leitfähigkeit des Serums um 2,5 % herab; die corrigirte Leitfähigkeit ($\varkappa_c$) ist also:

$$\varkappa_c = \frac{100 - \varkappa}{100 - 2{,}5\,p},$$

wo p den Eiweissgehalt in Procenten bedeutet.

Die elektromotorische Kraft wurde nach der in der vorhergehenden Arbeit des Einen von uns (Farkas) beschriebenen Weise gemessen. Die Messelektrode war: $^1/_{100}$ HCl in $^1/_8$ NaCl. Die Messungen wurden grösstentheils mit Laugenketten controlirt. Die benützten sehr kleinen Gaselektroden, welche bei ihrem kleinen Fassungsraum nur sehr wenig Flüssigkeit erfordern, sind speciell zu diesen Untersuchungen construirt worden. Sie sollen später beschrieben werden.

Die gefundene elektromotorische Kraft wurde stets mit dem berechenbaren Diffusionspotential (siehe die vorangehende Arbeit von Farkas) corrigirt. Unseres Wissens wurden ähnliche Messungen der elektromotorischen Kraft zur Ermittlung der HO'-Concentration des menschlichen Blutserums bisher noch nicht ausgeführt.

Den N bestimmten wir in 5 oder — wenn so viel nicht vorhanden war — in 3 ccm Serum stets nach Kjeldahl. Meist machten wir Doppelanalysen, wenn aber nicht genug Flüssigkeit zu Gebote stand, mussten wir uns mit einer begnügen. Der N wurde mit Hülfe des Factors 6,25 in Eiweiss umgerechnet, und dieser Werth wurde dann zur erwähnten Correction der specifischen Leitfähigkeit verwendet. Bei dem Fruchtwasser war unser Vorgehen

[illegible] untersucht. Hier ist die [illegible] der Correctionswerth bei [illegible] kommt, um so weniger, [illegible] Eiweiss enthalten ist.

[illegible] der calorimetri- [illegible] Serums resp. Fruchtwassers nach Sal- [illegible]

[illegible] des Serums resp. des Frucht- [illegible] — [illegible] ccm — musste zur [illegible] eine solche Probe verwendet [illegible] und Leitfähigkeitsbestim- [illegible] haben wir dabei immer auf die [illegible] besonders geachtet.

[illegible] die Bestimmung des titrirbaren [illegible] dem Serum mittelst $^{1}/_{10}$ HCl. [illegible] von bester Qualität verwendet; [illegible] wurden während des Titrirens in die [illegible] sichtbare und bleibende [illegible] destillirtem Wasser blieb das [illegible] eines Tropfens (0,05 ccm) von [illegible] Wasser wurde die Farbe roth, so dass [illegible] war. Bei dem Serum [illegible] sehr unsicher, so dass bei [illegible] der grössten Sorgfalt oft schwan- [illegible] Aus diesem Grunde legen wir den [illegible] Alkali und den Veränderungen [illegible] bei.

[illegible] Blutserum.

[illegible] wir in folgenden vier Tabellen auf [illegible]

[illegible] aus diesen Daten geschah [illegible] Farkas Szili, Tangl in ihrer oben [illegible] Beispielen illustrirt beschrieben [illegible] der HO-Concentration verweisen [illegible] Arbeit von G. Farkas.

[illegible] dass das Blutserum der [illegible] der Schwangerschaft) und [illegible] des Gefrierpunktes des

Tabelle I. Serum von Schwangeren.

Bezeichnung des Serums	Gefrierpunkts-Erniedrigung Δ °C.	Gefundene specifische Leitfähigkeit $\varkappa$ in cm-1 · Ohm-1	Corrigirte specifische Leitfähigkeit $\varkappa$ c in cm-1 · Ohm-1	Elektromotorische Kraft π Volt	N %	N × 6,25 Eiweiss %	NaCl %	Titrirbares Alkali g äquivalent pro l	Concentration der HO' C_{OH} g äquivalent pro l
K. I.	0,535	0,00977	0,0120	0,329	1,25	7,80	0,579	0,049	$2,9 \cdot 10^{-7}$
S. II.	0,531	0,00986	0,0122	0,300	1,21	7,55	0,567	0,050	$1,0 \cdot 10^{-7}$
B. IV.	0,545	0,00964	0,0120	0,315	1,24	7,73	0,597	0,041	$1,7 \cdot 10^{-7}$
K. V.	0,546	0,00957	0,0119	0,308	1,22	7,64	0,590	0,043	$1,3 \cdot 10^{-7}$
P. VI.	0,544	0,01008	0,0121	0,332	1,08	6,78	0,597	0,047	$3,3 \cdot 10^{-7}$
S. III.	0,545	0,00979	0,0121	—	(1,20)	(7,50)	0,599	0,045	—
Mittel	0,541	0,00978	0,0121	0,316	1,20	7,50	0,590	0,046	$2,0 \cdot 10^{-7}$

Tabelle II. Serum von Kreissenden.

Bezeichnung des Serums	Gefrierpunkts-Erniedrigung Δ °C.	Gefundene specifische Leitfähigkeit $\varkappa$ in cm-1 · Ohm-1	Corrigirte specifische Leitfähigkeit $\varkappa$ c in cm-1 · Ohm-1	Elektromotorische Kraft π Volt	N %	N × 6,25 Eiweiss %	NaCl %	Titrirbares Alkali g äquivalent pro l	Concentration der HO' C_{OH} g äquivalent pro l
G. VII.	0,548	0,00978	0,0120	0,3180	1,17	7,27	0,596	0,042	$1,9 \cdot 10^{-7}$
G. VIII.	0,544	0,00950	0,0120	0,3075	1,32	8,26	0,593	0,046	$1,3 \cdot 10^{-7}$
S. IX.	0,530	0,00982	0,0120	0,2619	1,16	7,22	0,574	0,056	$0,2 \cdot 10^{-7}$
K. I.	0,541	0,00980	—	—	—	(7,59)	0,580	—	—
B. IV.	—	0,00918	—	—	—	—	0,591	—	—
Mittel	0,540	0,00957	0,0120	0,313[1])	1,22	7,60	0,588	0,046	$1,6 \cdot 10^{-7}$[1])

[1]) Serum S. IX wurde bei der Berechnung des Mittelwerthes ausser Acht gelassen.

Tabelle III. Blutserum von Wöchnerinnen.

Bezeichnung des Serums	Gefrierpunkts-Erniedrigung Δ °C.	Gefundene specifische Leitfähigkeit $\varkappa$ in cm-1 · Ohm-1	Corrigirte specifische Leitfähigkeit $\varkappa$ c in cm-1 · Ohm-1	Elektromotorische Kraft π Volt	N %	N × 6,25 Eiweiss %	NaCl %	Titrirbares Alkali g äquivalent pro l	Concentration der HO' C_{OH} g äquivalent pro l
K. I.	0,572	0,00969	0,0118	0,318	1,16	7,25	0,571	0,048	$1,9 \cdot 10^{-7}$
G. VII.	0,570	0,01012	0,0123	0,305	1,13	7,08	0,585	0,046	$1,1 \cdot 10^{-7}$
G. VIII.	0,557	0,00965	0,0119	0,320	1,21	7,56	0,591	0,048	$2,1 \cdot 10^{-7}$
S. IX.	0,553	0,00986	0,0121	0,325	1,20	7,51	0,574	0,053	$2,5 \cdot 10^{-7}$
O. Eklampsie	0,573	0,00979	0,0116	0,282	0,98	6,14	0,575	0,050	$0,4 \cdot 10^{-7}$
Serum von d. Patientin O. nach der Heilung . .	—	—	—	0,307	—	—	—	—	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Mittel v. den ersten 4 Sera	0,563	0,00983	0,120	0,317	1,18	7,35	0,580	0,049	1,9—10^{-7}

Tabelle IV.

Bezeichnung des Serums	Zeit der Entnahme	Gefrierpunkterniedrigung Δ ° C.	Gefundene specif. Leitfähigkeit $\varkappa$ in cm−1 . ohm−1	Corrigirte specif. Leitfähigkeit $\varkappa_c$ in cm−1 . ohm−1	Elektromotor. Kraft π Volt	N %	N · 6,25 Eiweiss %	NaCl %	Titrirbares Alkali g äquivalent pro Liter	Concentr. der HO′ C_{OH} g äquivalent pro Liter
G. VII.	während der Geburt . . .	0,548	0,00978	0,0120	0,318	1,17	7,27	0,596	0,042	1,9 · 10−7
	im Wochenbett	0,570	0,01012	0,0123	0,305	1,13	7,08	0,585	0,046	1,1 · 10−7
G. VIII.	während der Geburt . . .	0,544	0,00950	0,0120	0,308	1,32	8,26	0,593	0,046	1,3 · 10−7
	im Wochenbett	0,557	0,00965	0,0119	0,320	1,21	7,56	0,591	0,048	2,1 · 10−7
S. IX.	während der Geburt . . .	0,530	0,00982	0,0120	0,262	1,16	7,22	0,574	0,050	0,2 · 10−7
	im Wochenbett	0,553	0,00986	0,0121	0,325	1,20	7,51	0,574	0,053	2,5 · 10−7
K. I.	während der Schwangersch.	0,535	0,00977	0,0120	0,329	1,25	7,80	0,579	0,049	2,9 · 10−7
	im Wochenbett	0,572	0,00969	0,0118	0,318	1,16	7,25	0,571	0,048	1,9 · 10−7

Tabelle V. Vergleich der Mittelwerthe.

Sera von	Gefrierpunkt-Erniedrigung Δ ° C.	Gefundene specif. Leitfähigkeit $\varkappa$ in cm−1 · ohm−1	Corrig. specif. Leitfähigkeit $\varkappa_c$ in cm−1 · ohm−1	Elektromotor. Kraft π Volt	N %	N · 6,25 Eiweiss %	NaCl %	Titrirbares Alkali g äquivalent pro Liter	Osmotische Concentration C_o (Mol. pro Liter)	Concentration d. Elektrolyte C_e (Mol. pro Liter)	Concentration der Nicht-Elektrolyte C_{ne} (Mol. pro Liter)	Von den Elektrolytmolen sind NaCl C_{NaCl} (Mol. pro Liter)	Von den Elektrolytmolen sind Nicht-Chloride[1] $C_{n.NaCl}$ (Mol. pro Liter)	Concentr. d. HO′ C_{OH} g aequivalent pro Liter
Schwangeren	0,541	0,00978	0.0121	0,316	1,20	7,50	0,590	0,046	0,292	0,264	0,028	0,186	0,078	2,0 · 10−7
Kreissenden	0,540	0,00957	0,0120	0,313	1,22	7,60	0,588	0,046	0,292	0,261	0,031	0,185	0,076	1,6 · 10−7
Wöchnerinnen	0,563	0,00983	0,0120	0,317	1,18	7,35	0,580	0,049	0,304	0,261	0,043	0,182	0,079	1,9 · 10−7

1) Die Nicht-Chlorid-Elektrolyte sind als Na_2CO_3 gerechnet. Es wäre entschieden richtiger, die Rechnung auf $NaHCO_3$ zu führen, doch sind dazu die physiko-chemischen Constanten noch zu wenig bekannt.

normalen Serums (0,56 nach Korányi und Zangenmeister nicht erreicht. Die maximale Höhe beträgt —0,548, die Durchschnittshöhe —0,54. Das Blutserum der Schwangeren gegen Ende der Gravidität und Gebärenden ist also weniger concentrirt als das menschliche Blutserum im Allgemeinen, was im Verhältniss zum normalen Blute einer Hypotonie entspricht. Diesen Unterschied fanden schon Krönig und Fueth[1]), Mathes[2]), dann Fueth[3]) und Zangenmeister[4]), deren Resultate durch unsere Untersuchungen bestätigt werden. Zwischen dem Gefrierpunkte des Serums der Schwangeren und Gebärenden ist kein wesentlicher Unterschied.

Im Wochenbette sinkt der Gefrierpunkt des Blutes ganz entschieden, d h. die molekulare Concentration wird grösser, welcher Umstand sowohl aus den Durchschnittszahlen wie auch aus den Untersuchungen ersichtlich ist, in welchen das Serum desselben Individuums einerseits während der Schwangerschaft, andererseits während der Geburt resp. des Wochenbettes untersucht wurde:

(Siehe Tabelle V auf S. 582.)

Es kommt sogar nicht selten vor, dass nach Geburt der Gefrierpunkt sogar unter den Normalwerth sinkt. Im Wochenbette kommt also eine Compensation, ja sogar Uebercompensation der Hypotonie des Blutes vor.

Wenn wir nun die Zahlen der corrigirten Leitfähigkeiten betrachten, sehen wir, dass diese einerseits mit den Resultaten der Thierexperimente von Bugarszky und Tangl (ca. 0,0125, wenn ihre in Siemens-Einheiten ausgedrückten Werthe mit dem Factor 10690 in absolute Einheiten umgerechnet werden), andererseits mit den Resultaten von Ubbels[5]) (ca. 0,0130, wenn die Temperaturdifferenz und der Eiweissgehalt berücksichtigt werden) sowie mit den sich auf Menschenblut beziehenden Angaben von Viola[6]) (ca. 0,0115 nach den entsprechenden Correctionen) so ziemlich übereinstimmen.

---

1) Krönig u. Fueth, Monatsschr. f. Geb. u. Gyn. Bd. 13. Verhandl. S. deutsch. Ges. f. Gyn. Bd. 9. 1901.

2) Mathes, Centralbl. f. Gyn. 1901.

3) Fueth, Centralbl. f. Gyn. 1903.

4) Zangenmeister, Monatsschr. für Geb. u. Gyn. 1903.

5) Ubbels, Vgl. Untersuchung von fötalem und mütterlichem Blute und Fruchtwasser. Diss. Giessen 1901.

6) l. c.

Andererseits ist die Constanz der Werthe der corrigirten Leitfähigkeit auffallend. Die Durchschnittszahl beträgt in allen drei Tabellen 0,0120. Die Leitfähigkeit des Serums erleidet also während der Schwangerschaft, Geburt und des Wochenbettes keine merkliche Veränderung. Die Veränderung des Gefrierpunktes im Wochenbette beträgt durchschnittlich 5 % (er steigt nämlich von 0,54 auf 0,56—0,57), die Differenz der Werthe der Leitfähigkeiten bleibt hingegen unter 1 %. Da die corrigirte Leitfähigkeit das Maass der Elektrolyten- bezw. der Ionenconcentration bildet, müssen wir aus der Unveränderlichkeit der Leitfähigkeit auf die Constanz des Elektrolytgehaltes des Serums während Schwangerschaft, Geburt und Wochenbett schliessen.

Die elektromotorische Kraft und die aus dieser berechnete Hydroxylionen-Concentration stimmt in den beobachteten Fällen mit den Werthen überein (1×10^{-7} bis 3×10^{-7}), welche der Eine von uns (siehe voranstehende Arbeit) für verschiedene Thier-Sera fand. Also ist auch das menschliche Blutserum annähernd neutral. In zwei Fällen jedoch gewannen wir Werthe, welche unter diesen Durchschnittszahlen stehen. Bei einer schweren, protahirten Geburt (S. IX Tab. II) betrug die Hydroxylionen-Concentration $0,2 \times 10^{-7}$, und in dem Falle einer puerperalen Eklampsie nach dem zwölften Anfalle $0,44 \times 10^{-7}$ (O. Eklampsie Tab. III). (Diese Messungen wurden sorfältig revidirt und wiederholt.) Diese wenigen Daten berechtigen zwar nicht zu weitgehenden Schlüssen, sie würden jedoch für die Annahme sprechen, dass in beiden Fällen die durch die gesteigerte Muskelarbeit producirten Säuren die Verringerung der Hydroxylionen über die Grenze der neutralen Reaction verursachten.

Die Frage bedarf noch jedenfalls weiterer Untersuchungen.

Die Concentration des Cl resp. NaCl und des Eiweisses ist so ziemlich constant; ausgesprochene Unterschiede kommen in den einzelnen Stadien nicht vor.

In unseren Fällen sahen wir also die Beobachtung Zangenmeister's[1]), wonach während der Schwangerschaft eine Abnahme des Eiweisses und Zunahme des NaCl erfolge, nicht bestätigt.

Uebrigens stünden die zufälligen Schwankungen des Cl-Gehaltes — wenn diese auch durch zahlreiche Beobachtungen bewiesen

1) l. c.

wären — nicht im Widerspruche mit der von uns gefundenen Constanz der Elektrolyten-Concentration während der Schwangerschaft, der Geburt und des Wochenbettes. Das compensatorische Verhältniss, welches zwischen den Chloriden und Carbonaten bezw. Hydrocarbonaten besteht, und welches vielfach bewiesen wurde [1]), kann ja eine Constanz der Elektrolyt-Concentration auch dann zu Stande bringen, wenn die Menge der Chloride Schwankungen unterworfen ist.

Die Bestimmung des titrirbaren Alkalis gab — vielleicht auch aus dem oben erwähnten Grunde — keine eindeutigen Resultate. Die Werthe sind schwankend; ein ausgesprochener Unterschied besteht jedoch zwischen den einzelnen Stadien nicht. Diese Unsicherheit der Bestimmung ist wahrscheinlich die Ursache davon, dass die Menge des titrirbaren Alkalis im Blute der Schwangeren im Vergleiche zum Alkaligehalt des normalen Blutes von Blumreich [2]) gesteigert, von Zangenmeister [3]) hingegen verringert gefunden wurde. Sollte die Constanz der Leitfähigkeit auch nach zahlreichen Untersuchungen als gesetzmässig gefunden werden, und sollte die Menge des Chlors während der Schwangerschaft thatsächlich wachsen, so ist — auf Grund des Gesagten — eher eine Verminderung des titrirbaren Alkali, hauptsächlich des $NaHCO_3$, also eine Bestätigung der Zangenmeister'schen Angaben, zu erwarten.

Aus unseren Resultaten ist also nur zu ersehen, dass die molekulare Concentration des Blutes während der Schwangerschaft vermindert ist, jedoch nicht in Folge der Abnahme der Elektrolyten. Man könnte auf eine Veränderung des Eiweisses denken, welches kein Elektrolyt ist. Wie wir jedoch sahen, schwankt einerseits die Concentration des Eiweisses sehr wenig, andererseits kann durch diese Schwankungen des Eiweissgehaltes — wegen der Grösse der Moleküle — der Gefrierpunkt nicht beeinflusst werden. Wir müssen daher die Verdünnung des Serums während der Schwangerschaft auf die Abnahme anderer, ausser dem Eiweiss im Serum vorhandener organischer Stoffe von kleinerem Molekulargewicht, welche keine Elektrolyten sind, zurückführen, d. h. auf die Abnahme der sog. intermediären Stoffwechselproducte.

1) Zuntz, Beitr. z. Physiologie d. Blutes. Diss. Bonn 1868.
2) Arch. f. Gyn. Bd. 59. 1899.
3) Zeitschr. f. Geb. u. Gyn. 1903.

b) Fruchtwasser.

Im Ganzen haben wir vier Fruchtwässer untersucht; die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle VI zusammengestellt:

Tabelle VI. Fruchtwässer.

Bezeichnung des Fruchtwassers	Gefrierpunktserniedrigung Δ ° C.	Gefundene specif. Leitfähigkeit $\varkappa$ in $cm^{-1} \cdot Ohm^{-1}$	Elektromotor. Kraft π Volt	N %	NaCl %	Titrirbares Alkali g-äquiv. pro Liter	Concentration HO' C_{OH} g-äquiv. pro Liter
B. IV.	0 475	0,0107	0,290	0,102	0,508	0,018	$0,8 \cdot 10^{-7}$
G. VII.	0,507	0,0115	0,305	0,091	0,580	0,020	$1,1 \cdot 10^{-7}$
G. VIII.	0,466	0,0100	0,288	0,084	0,494	0,022	$0,6 \cdot 10^{-7}$
S. IX.	0,452	0,0104	0,300	0,098	0,444	0,017	$0,9 \cdot 10^{-7}$
Mittel	0,475	0,0107	0,296	0,094	0,507	0,019	$0,9 \cdot 10^{-7}$

Wir sehen, dass das Fruchtwasser im Allgemeinen weniger concentrirt ist als das Serum, also eine stark hypotonische Lösung, deren Concentration im Vergleiche mit dem Blute viel veränderlicher ist, jedoch einigermaassen der Concentration des Serums zu folgen scheint (siehe Tabelle II).

Die Leitfähigkeit bleibt tief unter der des Serums, nur in einem Falle (G. VII) nähert sie sich der letzteren; auch die Leitfähigkeit ist sehr schwankend. Im Fruchtwasser ist also nicht nur die gesamte molekulare Concentration, sondern auch die Elektrolyten-Concentration niedriger und weniger constant als im Serum.

Die aus der elektromotorischen Kraft berechnete Hydroxylionen-Concentration entspricht ebenfalls, wie beim Serum, der neutralen Reaction. In einem Falle — mit protrahierter, schwerer Geburt — überstieg sie die Hydroxylionen-Concentration des Serums. Möglich, dass die saure Reaction des früher fast neutralen Blutes während der Geburt entstanden ist, während das Fruchtwasser seine frühere Reaction beibehielt.

Der Eiweissgehalt ist sehr gering, der grösste Theil des N ist in anderen organischen Stoffen enthalten. Aus diesem Grunde war auch, wie schon erwähnt, eine Correction der Leitfähigkeit nicht nöthig. Der Cl-Gehalt ist im Fruchtwasser ebenfalls etwas verringert. Auffallend gering ist die Menge des titrirbaren Alkalis, was theils vielleicht der Abnahme der Bicarbonate, grösstentheils jedoch der Abnahme des Eiweissgehaltes zuzuschreiben ist. Die Farben-

veränderung des Indicators bei der Titrirung geht daher mit einer viel schärferen Grenze vor sich als bei dem Serum.

Unsere Untersuchungen dürften also dafür sprechen, dass das Fruchtwasser — wenigstens am Ende der Schwangerschaft — nicht als ein einfaches Transsudat des Serums zu betrachten ist; es enthält nicht nur weniger Eiweiss, sondern auch andere gelöste Substanzen und steht mit dem Serum überhaupt in keinem osmotischen Gleichgewichte. Wenn wir den fötalen Harn besser kennen würden, könnten wir die beobachteten Unterschiede vielleicht aus der diluirenden Wirkung desselben erklären; vorläufig müssen wir uns jedoch auf die Mittheilung der beobachteten Thatsachen beschränken.

Die Resultate unserer Arbeit können wir daher im Folgenden zusammenfassen:

1. Während der Schwangerschaft steigt der Gefrierpunkt des Serums, es sinkt also die molekulare Concentration; nach der Geburt, im Wochenbette, erreicht das Serum die normale durchschnittliche Concentration oder übersteigt noch dieselbe.

2. Die corrigirte elektrische Leitfähigkeit des Serums erleidet während der Schwangerschaft, Geburt und des Wochenbettes keine merkliche Veränderung, die Elektrolyten-Concentration bleibt also constant. Die Concentration der „Nicht-Elektrolyte“ (ausser Eiweiss), welche so ziemlich den organischen, nicht-eiweiss-artigen Stoffen entsprechen, ist gegen Ende der Schwangerschaft und auch während der Geburt geringer.

3. Der Eiweiss- und Chlorgehalt weist keine wesentlichen Veränderungen auf.

4. Die Hydroxylionen-Concentration entspricht auch im menschlichen Blute annähernd der neutralen Reaction.

5. Bei der osmotischen Analyse des menschlichen Blutserums nach der Methode von Bugarszky und Tangl erhält man ähnliche Werthe wie bei dem Blutserum der Säugethiere.

6. Das Fruchtwasser ist eine Eiweissspuren enthaltende hypotonische Lösung, kein einfaches Transsudat des Blutes.

Die Untersuchungen haben wir unter der Leitung des Herrn Prof. F. Tangl ausgeführt.

(Aus dem physiologischen Institute der thierärztlichen Hochschule zu Budapest.)

Beschreibung eines Apparates zu quantitativen Respirationsversuchen mit künstlicher Athmung.

Von

F. Tangl.

(Mit 5 Textfiguren.)

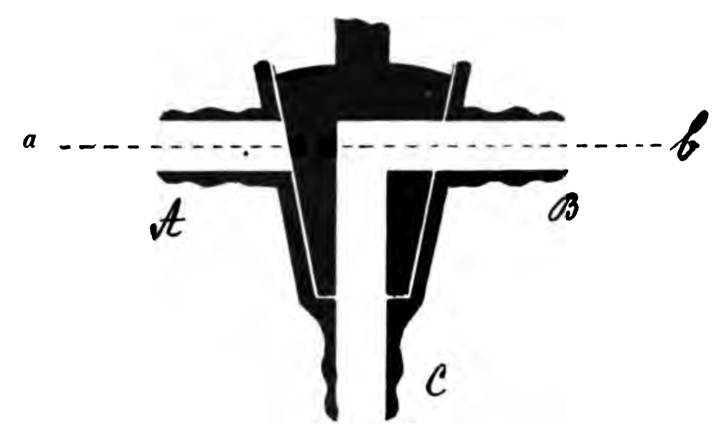
Es unterliegt keinem Zweifel, dass gewisse Fragen der Stoffwechselphysiologie nur durch kurzdauernde Respirationsversuche gelöst werden können. Letztere sind also unentbehrlich und, mit den nöthigen Cautelen angestellt, auch einwandsfrei, insofern man nicht Bilanzfragen des Stoffwechsels mit ihrer Hülfe lösen will. Einer der genauesten und zu solchen Versuchen geeignetsten Apparate, ganz besonders, wenn es sich um eine grössere Reihe von Versuchen handelt, ist der bekannte Zuntz-Geppert'sche, den Magnus-Levy[1]) vor einigen Jahren in diesem Archive ausführlich beschrieb. Diese Ueberzeugung veranlasste mich, eine Vorrichtung zu construiren, mit deren Hülfe dieser Respirationsapparat auch zu Versuchen mit künstlicher Respiration verwendet werden kann. Bei der Construction handelte es sich in erster Reihe darum, bei möglichst regelmässiger und regulirbarer Ventilation der Lungen eine gleichmässige Zufuhr der frischen Luft zu ermöglichen, und die aus der Lunge austretende Luft ohne jeden Verlust zu dem Zuntz'schen Gasmesser leiten zu können.

Der Apparat, den ich mir zu diesem Zwecke bauen liess, hat mir schon seit Jahren in einer langen Reihe von Versuchen sehr gute Dienste geleistet. Ich konnte mit seiner Hülfe mit dem Zuntz-Geppert'schen Apparat an curarisirten Thieren tadellose Respirationsversuche reihenweise in der bequemsten Weise ausführen.

1) Dieses Archiv Bd. 55.

Der Zweck dieser Mittheilung ist, diesen Apparat kurz zu beschreiben.

Der wesentlichste Theil desselben ist ein Ventilhahn, dessen verticalen Durchschnitt Fig. 1 in ²/₃ natürlicher Grösse zeigt.



Fgi. 1. ²/₃ natürl. Grösse

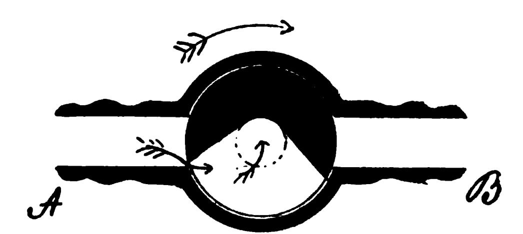


Fig. 2. ²/₃ natürl. Grösse.

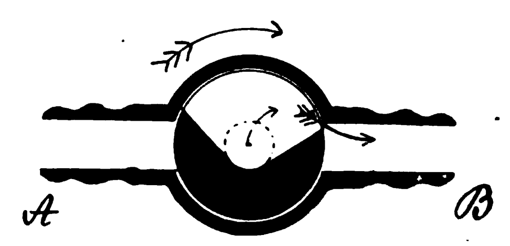


Fig. 3. ²/₃ natürl. Grösse.

Der Hahn selbst ist kegelförmig und passt luftdicht in ein ähnliches Gehäuse, in dem er mittelst einer verticalen Achse (in der Abbildung abgebrochen) drehbar ist. Das Gehäuse besitzt drei runde Oeffnungen,

die in die Schlauchansätze *A*, *B* und *C* führen, von welchen *A* und *B* horizontal, *C* vertical steht, und deren lichter Durchmesser 10 mm beträgt. Der Hahn hat eine winkelförmige Bohrung, deren verticaler Ast mit kreisförmiger Oeffnung im Gehäuse unmittelbar über dem Schlauchansatz *C* mündet. Der horizontale Ast der Bohrung hat eine grössere querovale Oeffnung in der Höhe der horizontalen Schlauchansätze *A* und *B*. Der lange Durchmesser dieser ovalen Oeffnung ist so gewählt, dass das ovale Loch während einer halben Umdrehung des Hahnes gegen *A*, während der folgenden halben Umdrehung gegen *B* geöffnet ist; eigentlich ist das Loch am Ende jeder halben Umdrehung für einige Augenblicke gegen beide geschlossen. Am deutlichsten ist das aus den Fig. 2 und 3 ersichtlich, die horizontale Querschnitte des Hahnes in der Höhe *a*, *b* (Fig. 1) darstellen. Fig. 2 zeigt die Stellung des Hahnes in dem Momente, als sich sein seitliches (querovales) Loch eben gegen *A*, — Fig. 3 die Stellung des Hahnes nach einer halben Umdrehung — (die Richtung der Drehung zeigen in beiden Figuren die äusseren Pfeile an) den Moment, wo es sich gegen *B* zu öffnen beginnt.

Verbindet man nun den Ansatz *C* luftdicht (mittelst Kautschukschlauch und Canüle) mit der Trachea des Thieres, den Ansatz *B* mittelst Kautschukschlauch mit dem Gasmesser und *A* mit einer Leitung, in welche Luft auf irgend eine Weise gepumpt wird, und dreht nun den Hahn mit gleichmässiger Geschwindigkeit, so wird von dem Momente an, wo der Hahn sich gegen *A* zu öffnen beginnt (Fig. 2), die Luft in die Lunge getrieben, so lange, bis der Hahn nach einer halben Umdrehung gegen *A* geschlossen wird und sich gegen *B* öffnet (Fig. 3).

Damit wird die Luftzufuhr zur Lunge unterbrochen, und durch die elastische Contraction der Lungen und des Brustkorbes kann nun während der folgenden halben Umdrehung die Luft aus den Lungen durch *B* gegen den Gasmesser entleert werden. Die inneren Pfeile in den Fig. 2 und 3 geben die Richtung des Luftstromes an; die unterbrochene Kreislinie im Innern des Hahnes ist der perspective Querschnitt der verticalen Bohrung des Hahnes.

Sind alle Leitungen und Verbindungen ebenso wie der Hahn luftdicht, so geht natürlich von der Athmungsluft gar nichts verloren, sie ist quantitativ genau messbar und ihre Grösse ebenso wie der Athmungsrhythmus durch die Umdrehungsgeschwindigkeit des Hahnes regulirbar.

Diesen Hahn habe ich in zweierlei Form verwendet. Mein erster Apparat, mit dem ich die meisten Versuche machte, ist eine Kolbenpumpe mit dem Ventilhahn combinirt. Fig. 4 zeigt die schematische Skizze dieses Apparates. Pumpe und Hahn sind auf eine gemeinsame Platte montirt und werden beide von der gemeinsamen horizontalen Achse (*1*), — die durch das Rad (*2*) von einem

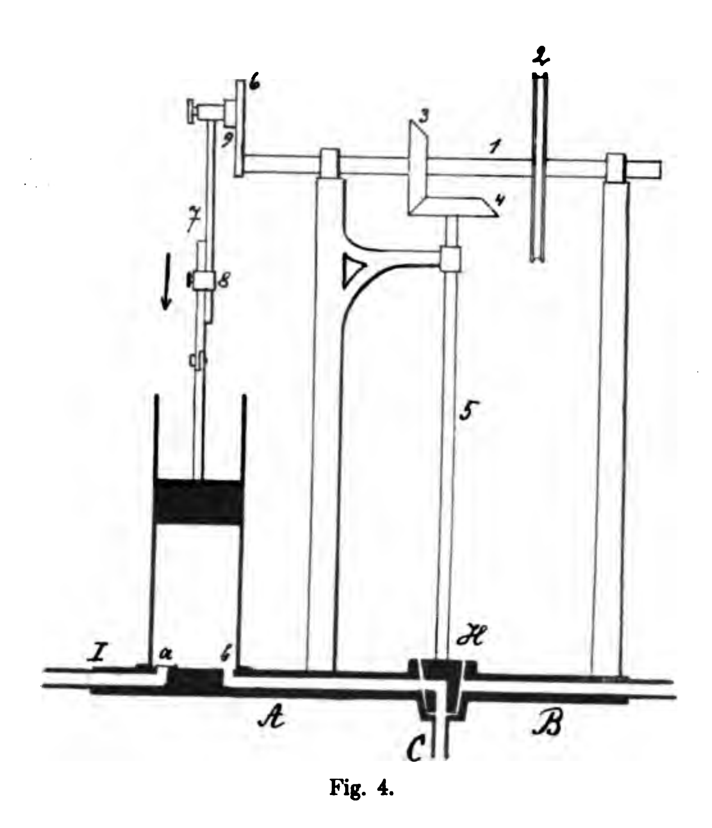


Fig. 4.

Motor gedreht wird, — betrieben. Durch Vermittlung der zwei konischen Zahnräder (*3*, *4*) und der Achse (*5*) wird der Hahn (*H*) gedreht, während gleichzeitig die Kurbel (*6*) mittelst der Stange (*7*) den Kolben der Pumpe hebt und senkt. Am Boden des Cylinders der Pumpe sind bei *a* und *b* Oeffnungen, von welchen *a*, mit einem in den Cylinder sich öffnenden Ventil versehen, in die Röhre *I* führt, während die Oeffnung *b* die Mündung der Röhre *A* ist, welche zum Hahn führt. Der Hahn und die Kurbel (*6*) sind so gestellt, dass während des Niederganges des Kolbens der Hahn gegen die Röhre *A*

geöffnet ist (wie in der Fig. 4) und Ventil *a* sich schliesst, die Luft also aus dem Cylinder durch den Hahn und die Röhre *C*, welche mit einem Kautschukschlauch mit der Trachealcanüle des Thieres verbunden ist, in die Lungen getrieben wird. Bei der folgenden Hälfte der Umdrehung wird der Kolben gehoben, Ventil *a* öffnet sich, der Hahn ist gegen *A* geschlossen und bleibt gegen B geöffnet, so dass jetzt die Luft aus den Lungen durch den Hahn und Röhre *B* zum Gasmesser strömt und gleichzeitig durch Röhre *I* von aussen frische Luft in den Cylinder der Pumpe aspirirt wird. Nach Lockerung der Schrauben bei *8* und *9* kann die Hubhöhe und damit die in den Cylinder aspirirte resp. die in die Lungen gepresste Luftmenge variirt werden. (Beim grössten Hub werden 750 ccm Luft aspirirt.) Die Zahl der Umdrehungen des Hahnes und der Hube, — also der Rhythmus der Athmung, — kann durch Veränderung der Tourenzahl des Motors und Veränderung der Transmission zwischen Motor und Triebrad (*2*) auf den gewünschten Werth eingestellt werden.

Ich habe mit diesem Apparate sowohl an grossen Hunden als kleinen Thieren: Kaninchen und Katzen, gleich gute Resultate erhalten und konnte damit in der bequemsten Weise 10—14stündige Versuchsreihen ausführen. Auch bei so langdauernden Versuchen erwies sich die durch die elastische Contraction des Brustkorbes und der Lungen bewerkstelligte Exspiration bei den curarisirten Thieren als vollständig genügend, was durch die hellrothe Farbe des arteriellen Blutes erwiesen war; eine künstliche Entleerung der Lunge durch Aspiration war also ganz überflüssig. Mein ursprünglicher Apparat ist eigentlich eine doppelcylindrige Pumpe, bei welcher der zweite Cylinder am Ende der Röhre *B* so angebracht ist und dieselbe Bodenconstruction hat wie der erste Cylinder an der Röhre *A*. Dieser zweite Cylinder aspirirte die Luft aus den Lungen während der halben Umdrehung, wo der Hahn gegen *B* geöffnet war, und presste sie dann beim Niedergang des Kolbens in die Leitung zum Gasmesser. Dieser zweite Cylinder erwies sich jedoch als überflüssig, ja, als gefährlich, denn bei der geringsten Differenz in den Hubhöhen der zwei Kolben wurden, da alles luftdicht schliessen musste, die Lungen besonders bei langdauernden Versuchen allmählich entweder so stark aufgeblasen oder aber, z. B. bei geöffnetem Brustkorb, so stark comprimirt, dass tödtliche Kreislaufstörungen auftraten.

Der zweite Apparat, den ich später bauen liess, und der sich auch sehr gut bewährt hat, ist insofern einfacher, als bei demselben

die Pumpe wegfällt und der zur künstlichen Respiration nöthige Luftstrom auch von einem gewöhnlichen Wasserstrahlgebläse, wie es in jedem Laboratorium zu finden ist, geliefert werden kann. Fig. 5 zeigt diesen Apparat in $^1/_6$ natürlicher Grösse. *H* ist der beschriebene Hahn mit seinen drei Schlauchansätzen; er wird mit einer Feder luftdicht in sein Gehäuse gepresst. Der Hahn ist im Gehäuse mit der Schraube *1*, welche auf der Zahnstange *1a* gleitet, auf der horizontalen Achse *2* verschiebbar und wird durch letztere mittelst der

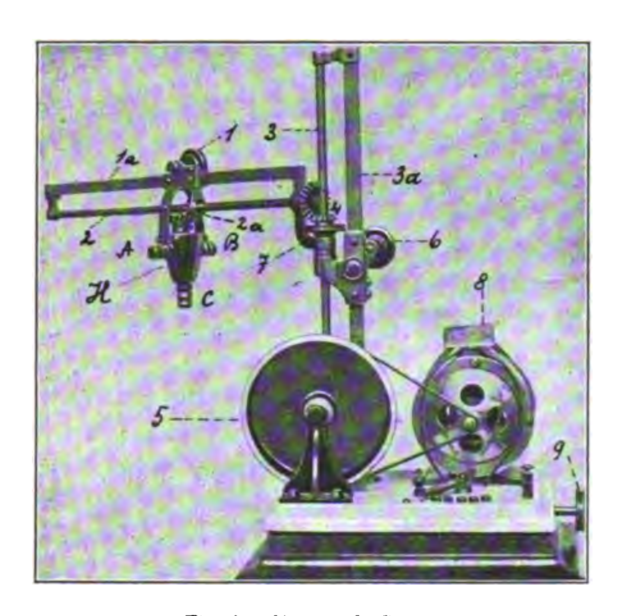


Fig. 5. $^1/_6$ natürl. Grösse.

konischen Zahnräder *2a* in Umdrehung versetzt. Die Achse *2* wird wiederum durch die Zahnräder *4* von der verticalen Achse *3* und diese ebenfalls durch Vermittlung von Zahnrädern von der horizontalen Achse des Vorgeleges *5* angetrieben (in der Abbildung nicht sichtbar). Mit dem Zahnrad *6*, welches auf der Zahnstange *3a* gleitet, kann man die horizontale Stange 1*a* heben und senken; letztere ist auch um die verticale Achse *3* drehbar und in jeder Lage mittelst der Schraube *7* fixirbar. *8* ist ein kleiner Elektromotor, dessen stufenförmige Schnurscheibe mittelst einer Gummischnur mit der Stufenscheibe des Vorgeleges *5* verbunden ist. *9* ist die Schraube des Schnurspanners. Das Ganze ist auf einer Eisenplatte (oder auch Marmorplatte) montirt, unter welcher sich der Rheostat

des Elektromotors befindet, so dass man den Motor in jedem Zimmer, wo sich eine elektrische Lichtleitung befindet, an letztere anschliessen kann.

Durch das Vorgelege sowie durch die erwähnten drei Paar Zahnräder, bei welchen das zum Motor näher liegende immer kleiner ist als das andere, wird die Tourenzahl vom Motor bis zum Hahn von 1200—3000 auf 10—30 herabgesetzt. Mit dem Rheostaten und dem Verschieben der Triebschnur auf dem Vorgelege lässt sich die Umdrehungsgeschwindigkeit des Hahnes leicht reguliren.

Der ganze Apparat ist sehr handlich, leicht transportirbar, man kann ihn auf jedem Tische aufstellen, so dass der Hahn mit seinem verticalen Ansatz *C* gerade über die Trachealcanüle des aufgebundenen Thieres — jeder Grösse und Art — zu stehen kommt, mit der er dann mittelst eines ganz kurzen Kautschukschlauches verbunden werden kann. (Das ist gegenüber dem ersten Apparat mit der Pumpe auch ein Vortheil, da bei jenem die Trachealcanüle mit einem längeren Schlauch mit dem Hahn verbunden werden muss, der schädliche Raum also, in dem sich die Exspirationsluft mit der Residualluft der Leitung mischt, ein grösserer ist.) Zur Ventilation der Lungen kann, wie schon gesagt, ein gewöhnliches Wasserstrahlgebläse verwendet werden, welches man mit dem Ansatz *A* des Hahnes durch einen Kautschukschlauch verbindet, während Ansatz *B* in ähnlicher Weise mit dem Gasmesser verbunden wird. Da das Gebläse einen constanten Luftstrom liefert, so würde es während der halben Umdrehung, wo der Hahn gegen den Ansatz *A* abgesperrt ist, zu einer starken Compression der Luft in der Leitung und einem stossweisen Aufblasen der Lungen führen, wenn man nicht dafür sorgt, dass diese Compression nicht zu hoch steigt. Dies erreicht man auf die einfachste Weise so, dass man die das Gebläse mit dem Hahn verbindende Leitung mittelst eines ⊥-Rohres mit dem langen Rohr eines Müller'schen Exspirationsventiles (oder einer Spritzflasche) verbindet; bei Ueberdruck entweicht dann die Luft durch die Flüssigkeit, deren Höhe auch gleich den Druck regulirt, mit dem die Luft in die Lungen gepresst wird[1]).

Statt eines Elektromotors kann der Apparat auch mit einer jeden kleinen Wasserturbine betrieben werden.

1) Der ganze Apparat, so wie ihn Figur 5 zeigt (sammt Elektromotor und Rheostaten), kann bei St. Junkuncz, Mechaniker der thierphysiol. Versuchsstation, Budapest II Oszlopgasse 26, für 170 Mark (= 200 Kr.) bezogen werden.

(Aus der kgl. ungar. thierphysiologischen Versuchsstation in Budapest.
Vorstand: Univ.-Prof. Dr. med. F. Tangl.)

Zur Methodik der Bestimmung des Stickstoff- und Eiweissgehaltes der Fäces.

Von

Dr. **A. Zaitschek,**
Chemiker an der Versuchsstation.

I. Ueber die Bestimmung des N-Gehaltes der Fäces.

Die Bestimmung des N- bezw. Eiweissgehaltes der Fäces gibt bekanntlich die Grundlage zur Berechnung der Eiweissausnutzung. Es liegt also viel daran, diese zwei Werthe so genau als irgend möglich zu ermitteln, um so mehr, da von der Genauigkeit des N-Werthes der Fäces auch die Genauigkeit des Werthes für den N-Umsatz abhängt.

Gewöhnlich wird bei den Ausnutzungsversuchen der Koth zur Analyse getrocknet und die Analyse am Trockenkothe ausgeführt. Man trocknet meist bei 50—60° C., denn nur im trocknen Zustande lassen sich die Fäces vermahlen und zu einem homogenen Gemisch pulverisiren, was zum Erlangen verlässlicher analytischer Daten unumgänglich nothwendig ist. Die N-Bestimmung in getrockneten Fäces ergibt aber in der Regel kleinere Werthe als in den frischen, woraus man auf einen N-Verlust während des Trocknens folgern kann, der hauptsächlich durch einen Verlust von N in Form von NH_3 bedingt ist. Kellner (1) hält es nach seinen Versuchen an Ochsenkoth für wahrscheinlich, dass sich ausser Ammoniumverbindungen noch andere N-haltige Körper, wahrscheinlich Harnstoff, beim Trocknen zersetzen. Vor Kellner haben schon Grouven (2), dann Henneberg und Stohmann (3) und Grandeau, Leclerc und Ballacey (4) den beim Trocknen von Pflanzenfresserkoth eintretenden N- bezw. Ammoniakverlust nachgewiesen. Darüber, wie gross dieser Stickstoffverlust ist, und welche Factoren hierauf Einfluss ausüben, besitzen wir noch keine systematischen Untersuchungen, wesshalb ich mich auf Anregung des Herrn Prof. Tangl mit dieser Frage befasste.

Tabelle I.

Versuchsobject	Nummer	Datum des Versuchs	Durchschnittliches Körpergewicht kg	Durchschnittliche Menge des täglichen Futters	Maximum und Minimum der täglichen Menge des frischen Kothes kg
Ochse I	1	29. Dec. 1899 bis 7. Jan. 1900	502,5	8 kg Heu, 3 kg Besenhirse	15,09—18,27
	2	16. bis 25. Januar 1900	506,4	6 kg Heu, 4 kg Besenhirse	13,05—16,71
	3	24 Febr. bis 2. März 1900	548,4	4 kg Heu, 8 kg Besenhirse, 16 kg Rüben	18,95—23,75
	4	17. bis 26. März 1900	574,4	5 kg Heu, 9 kg Besenhirse	19,09—31,5
Ochse II	1	20. bis 29. Dec. 1899	437,3	8 kg Heu	10,53—15,53
Hammel II	1	14. bis 18. Mai 1900	37,3	0,8 kg Heu	0,60—0,70
Pferd I	1	23. bis 27. Februar 1900	489,0	3,19 kg Heu, 3,0 kg Hafer, 3,0 kg Besenhirse	8,59—11,05
	2	13. bis 19. März 1900	487,8	3,75 kg Heu, 3,5 kg Hafer	6,94—8,68
Schwein III	1	20. bis 27. März 1900	45,6	2 kg Besenhirse	1,01—1,40
	2	6. bis 12. Mai 1900	68,0	3 kg Besenhirse	1,62—2,34
	3	21. bis 27. Mai 1900	76,1	3 kg Besenhirse	2,28—3,13
Schwein IV	1	18. bis 25. Mai 1900	53,5	1,8 kg Besenhirse	1,01—1,71
	2	4. bis 9. Juni 1900	61,1	2,5 kg Besenhirse	1,43—1,74
	3	14. bis 21. Juni 1900	68,0	3,0 kg Besenhirse	1,62—2,43
Gans III	1	7. bis 18. October 1900	3,27	142 g Mais	0,143—0,215
	2	19. bis 28. October 1900	3,47	150 g Mais	0,195—0,302
	3	29. Oct. bis 7. Nov. 1900	3,76	300 g Mais	0,330—0,432
	4	8. bis 13. November 1900	4,10	300 g Mais	0,361—0,629
Gans IV	1	8. bis 19. October 1900	3,10	240 g Besenhirse	0,326—0,495
	2	20. bis 29. October 1900	3,23	245 g Besenhirse	0,336—0,513
	3	30. Oct. bis 8. Nov. 1900	3,43	400 g Besenhirse	0,468—0,605
	4	9. bis 18. November 1900	3,91	400 g Besenhirse	0,455—0,619

Tabelle I.

Maximum und Minium des N-Gehaltes des täglichen frischen Kothes g	Frischer Koth			Getrockneter Koth			N-Verlust beim Trocknen		Wassergehalt des frischen Kothes
	durchschnittlich täglich kg	N-Gehalt		durchschnittlich täglich kg	N-Gehalt		g	in Proc. des N der frischen Fäces	
		%	g		%	g			
69,59—81,38	16,86	0,46	76,7	3,27	2,21	72,3	4,4	5,66	82,64
72,28—93,24	14,89	0,56	83,3	3,24	2,45	79,4	3,9	4,66	81,34
118,7—156,3	21,50	0,65	140,4	4,48	3,10	139,2	1,2	0,86	87,24
123,2—164,9	23,73	0,60	141,3	4,80	2,92	140,1	1,2	0,85	82,00
70,66	12,74	0,46	58,7	2,77	2,00	55,5	3,2	5,65	80,91
4,21—5,20	0,648	0,77	5,0	0,344	1,47	5,0	0	0	52,38
49,96—67,95	10,26	0,60	61,6	3,38	1,64	55,8	5,8	9,41	70,18
32,06—38,94	7,55	0,46	34,7	2,49	1,31	32,6	2,1	6,05	70,07
11,81—15,10	1,188	1,13	13,4	0,436	2,97	12,9	0,5	3,73	66,75
20,56—31,53	2,017	1,28	25,9	0,798	3,20	25,5	0,4	1,55	64,50
29,57—39,29	2,837	1,28	36,4	0,886	3,98	35,4	1,0	2,75	71,67
11,87—19,32	1,223	1,14	13,9	0,483	2,90	14,0	0	0	62,06
15,75—19,47	1,635	1,09	17,9	0,608	2,83	17,2	0,7	3,91	69,60
20,74—33,33	2,029	1,33	27,0	0,792	3,32	26,3	0,7	2,59	64,63
1,19—1,79	0,177	0,90	1,60	0,024	6,29	1,51	0,09	5,16	86,40
1,93—2,15	0,230	0,89	2,04	0,031	6,11	1,93	0,11	5,82	86,30
3,66—4,32	0,378	1,06	4,02	0,067	5,85	3,92	0,10	2,42	82,52
4,20—4,81	0,442	1,00	4,44	0,075	5,58	4,17	0,27	6,11	83,09
3,72—4,41	0,394	1,09	4,28	0,085	4,68	3,99	0,29	6,75	78,38
3,71—4,64	0,386	1,11	4,31	0,091	4,54	4,12	0,19	4,27	76,48
5,78—7,50	0,513	1,32	6,74	0,164	4,00	6,56	0,18	2,76	68,08
5,94—7,36	0,526	1,30	6,86	0,180	3,69	6,56	0,30	4,23	65,73

Tabelle II.

Versuchs-object	Nummer	Datum des Versuches	Durchschnittliches Körpergewicht kg	Nahrung (Futter)	Frische Fäces Gewicht g	Frische Fäces N-Gehalt %	Frische Fäces N-Gehalt g	Lufttrockene Fäces Gewicht g	Lufttrockene Fäces N-Gehalt %	Lufttrockene Fäces N-Gehalt g	N-Verlust beim Trocknen g	N-Verlust beim Trocknen in % des N der frischen Fäces	Wassergehalt der frischen Fäces %
		1902											
Mensch I	1	10. März	75	Hauptsächlich Fleischkost	90,8	1,87	1,70	24,5	6,21	1,52	0,18	10,59	76,80
	2	13. „			105,8	1,56	1,65	18,8	8,07	1,52	0,13	7,88	91,20
	3	14. „			139,8	1,45	2,03	33,2	7,56	2,03	0	0	87,16
	4	19. „			138,4	1,65	2,28	33,7	6,37	2,15	0,13	5,70	80,96
Mensch II	1	11. März	79	Gemischte Kost	151,7	1,42	2,15	29,6	7,07	2,09	0,06	2,33	88,19
	2	12. „			126,4	1,52	1,93	21,4	7,98	1,71	0,21	10,88	89,21
	3	18. „			214,8	0,53	1,13	23,0	4,94	1,13	0	0	95,40
	4	27. „			115,3	1,48	1,71	25,5	6,55	1,67	0,04	2,34	84,55
Mensch III	1	10. März	76	Gemischte Kost	94,1	1,67	1,55	22,0	6,91	1,52	0,03	1,93	81,72
	2	17. „			120,8	1,45	1,75	28,0	6,02	1,69	0,06	3,43	85,18
	3	21. „			124,4	1,30	1,61	28,6	5,15	1,47	0,14	8,69	81,94
	4	7. April			140,3	1,55	2,17	30,4	6,83	2,07	0,10	4,74	78,40
	5	16. „		Hauptsächlich Fleischkost	136,5	1,47	2,00	25,9	6,83	1,76	0,24	11,81	79,53
Hund I	1	12. März	15	Fleisch	51,4	3,47	1,78	19,2	7,81	1,53	0,25	14,05	60,68
	2	17. „			54,3	2,59	1,41	19,9	5,85	1,16	0,25	17,73	69,76
Hund II	1	22. April	40	Fleisch	148,0	1,19	1,76	65,0	2,40	1,56	0,20	11,52	64,20
	2	29. „			109,6	1,00	1,10	43,1	2,31	0,99	0,11	9,72	69,84
Hund III	1	4. Mai	35	Fleisch	135,4	0,77	1,04	67,0	1,39	0,93	0,11	10,18	57,23

Tabelle III.

Versuchs-object	Nummer des Versuches	Datum des Versuches	Durchschnittliches Körper-Gewicht kg	Durchschnittliche Menge des täglichen Futters	Frischer Koth: durchschnittlich täglich kg	Frischer Koth: N-Gehalt g	Getrockneter Koth: durchschnittlich täglich kg	Getrockneter Koth: N-Gehalt %	Getrockneter Koth: N-Gehalt g	N-Verlust beim Trocknen: g	N-Verlust beim Trocknen: in % des N des mit Säure getrockneten Kothes	Wasser-Gehalt des frischen Kothes
Ochse III	1	1901 4.—14. April	330,6	6,12 kg eingesäuertes Heu	17,06	92,8	3,49	2,68	93,6	0	0	83,45
Ochse IV	1	1901 4.—14. April	312,2	5,97 kg eingesäuertes Heu	13,48	87,7	3,21	2,72	87,5	0	0	78,20
Hammel III	1	1900 20.—29. Mai	30,9	0,2 kg Heu 0,4 kg Hafer 0,4 kg Klee-Siebsel	0,580	6,5	0,289	2,26	6,5	0	0	54,97
	2	1900 13.—20. Juni	30,6	0,25 kg Heu 0,5 kg Hafer	0,495	4,5	0,272	1,61	4,5	0	0	50,90
Hammel V	2	1903 18.—25. März	28,9	0,5 kg Heu 0,5 kg Derby-Melasse	0,797	6,9	0,326	2,07	6,77	0,13	1,88	61,50
Hammel VI	1	1903 2.—11. Juni	27,1	0,5 kg Heu 0,5 kg Derby-Melasse	0,791	6,1	0,298	2,13	6,0	0,1	0,22	64,70
Pferd VII	6	1903 19.—28. März	438	5 kg Heu 3 kg Derby-Melasse	10,00	48,6	2,96	1,58	46,7	2,1	4,32	72,21
Pferd VIII	5	1903 19.—28. März	423	5 kg Heu 4 kg Derby-Melasse	10,95	48,3	3,19	1,57	50,2	1,9	3,93	72,68
Schwein VI	1	1901 20.—27. Mai	51,1	0,7 kg Mais 0,7 kg Klee-Siebsel	1,101	12,4	0,321	3,66	11,7	0,7	5,65	74,22

In einem Theil meiner Versuche wurde der N-Gehalt des getrockneten Kothes mit demjenigen des frischen oder mit Säure (Schwefel- oder Weinsäure) versetzten resp. mit Alkohol conservirten Kothes verglichen. In einer zweiten Versuchsreihe wurden die beim Trocknen entweichenden N-haltigen Substanzen in concentrirter Schwefelsäure aufgefangen. Bei den meisten meiner Versuche habe ich den frischen Koth mit dem getrockneten verglichen. Ich nahm gewöhnlich zwei bis vier Proben à 8—10 g des gut durchrührten frischen Kothes und 1—2 g der bei 50—60° C. 1—2 Tage getrockneten Probe desselben Kothes. Der N-Verlust wurde in beiden nach der Kjeldahl'schen Methode anfangs mit Kupfersulfat, später mit Quecksilber und Kaliumsulfat bestimmt.

Die den N-Verlust betreffenden Versuchsergebnisse sind in den Tabellen I—VI enthalten.

(Siehe Tabelle I auf S. 596 u. 597, Tabelle II auf S. 598, Tabelle III auf S. 599.)

Tabelle IV.

Versuchs-object	Nummer	Datum des Versuchs	Durchschnittl. Körpergewicht kg	Durchschnittliche Menge des täglichen Futters	Frische Excremente durchschnittlich täglich g	Frische Excremente N-Gehalt g
Huhn I	1	8.—15. März 1902	0,95	69,5 g Mais	86,5	1,08
Huhn II	1	8.—15. „ 1902	0,96	65,6 g Mais, 98 ccm abgerahmte Milch	97,2	1,44
Huhn III	1	8.—16. Dec. 1902	1,06	93,3 g Mais	117,0	1,38
Huhn IV	1	8.—16. „ 1902	1,13	71,6 g Mais, 107 ccm Milch	65,7	1,34

Versuchs-object	Getrocknete Excremente durchschnittl. täglich g	Getrocknete Excremente N-Gehalt %	Getrocknete Excremente N-Gehalt g	N-Verlust beim Trocknen g	N-Verlust beim Trocknen in Procenten des N d. mit Alkohol aufbewahrten Excremente	Wassergehalt der frischen Excremente %
Huhn I	15,1	6,91	1,04	0,04	3,20	78,56
Huhn II	20,9	6,79	1,41	0,03	2,08	68,21
Huhn III	20,5	6,40	1,31	0,07	5,27	82,22
Huhn IV	16,7	7,66	1,28	0,06	5,00	74,58

Tabelle I enthält jene mehrtägigen Versuche, in welchen die N-Bestimmung der frischen Fäces täglich stattfand, — wie bereits erwähnt, in 2—4 Proben; gleichzeitig wurden täglich vom Kothe pro-

portionale Theile — $^1/_2$, $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ — bei 50—60° C. getrocknet. Diese lufttrockenen Proben wurden dann gewogen, vermischt und pulverisirt; die Mischung diente dann zur Analyse. Auf diese Weise ist der N-Gehalt des frischen Kothes je nach der Dauer des Versuches der Mittelwerth von 16—30 Bestimmungen, während der N-Gehalt des getrockneten Kothes dem Mittel von 2—3 Bestimmungen der genauen Durchschnittsprobe entspricht.

Tabelle V.

Versuchs-object	Nummer des Versuches	Menge d. untersuchten Kothes		N im frischen Kothe		N im lufttrockenen Kothe	N-Verlust beim Trocknen	
		frisch g	lufttrocken g	g	%	g	g	in % des im frischen Kothe enthaltenen N
Koth eines m. sterilisirter Kuhmilch ernährten, 4 Monate alten Säuglings. (Reiner, mit Harn n. vermischter Koth.)	1	32,7	7,95	0,2617	0,80	0,2338	0,0279	10,66
	2	29,7	6,70	0,2243	0,76	0,2138	0,0105	4,68
	3	14,6	3,32	0,1021	0,70	0,0988	0,0033	3,23
	4	16,6	3,78	0,1236	0,75	0,1110	0,0126	10,19

Tabelle VI.

Gegenstand der Untersuchung		N-Verlust		Trockensubstanzgehalt des	
		im Lufttrockenschrank	im Vacuumtrockenschrank	im Lufttrockenschrank	im Vacuumtrockenschrank
		in Procenten des N des frischen Kothes		getrockneten Kothes in Procenten	
Menschenkoth	1	10,59	9,69	26,94	26,93
	2	2,33	2,19	19,49	19,62
	3	10,88	12,40	16,94	16,74
	4	7,88	6,48	17,76	18,11
	5	3,43	4,14	13,21	12,74
	6	5,70	4,80	25,20	24,37
	7	8,69	8,40	24,21	23,01
Hundekoth		3,89	2,93	80,46	81,75

In den in Tabelle II angeführten Versuchen wurden die Fäces nur je eines Tages genommen.

In den Versuchen der Tabelle III wurde der N-Gehalt des frischen Kothes nicht bestimmt, sondern es wurden von je zwei proportionalen Theilen des frischen Kothes einer mit und einer ohne Säurezusatz getrocknet. Am Schluss des Versuches wurden dann die entsprechenden Theile vermischt, gepulvert und analysirt. Bekanntlich kann man den in der üblichen Weise mit Schwefelsäure getrockneten Koth wegen der unvermeidlichen Verkohlung zu calori-

metrischen Bestimmungen nicht mehr verwenden; desshalb wurde auch statt der Schwefelsäure neuerdings Weinsäure empfohlen, die, in bekannter Menge dem Kothe zugesetzt, die calorimetrischen Messungen nicht stört. Letztere verwendete ich in den Versuchen an Pferd VII und VIII, während in den übrigen H_2SO_4 verwendet wurde.

Bei den Versuchen an Hühnern (Tabelle IV) wurden zu je einem Versuche 8—10 Hühner verwendet, deren Excremente in einem entsprechenden Stoffwechselkäfig gemeinsam gesammelt wurden. Von der täglichen Kothmenge würde von je zwei proportionalen Theilen einer in absoluten Alkohol gebracht, der andere bei 50° C. getrocknet. Am Schluss des Versuches wurden die in Alkohol conservirten Kothproben gut vermischt, der Alkohol abdestillirt und, nachdem ich mich davon überzeugt hatte, dass das Destillat kein Ammoniak enthielt, in dem gewogenen Rückstand der Stickstoff bestimmt. Der gefundene Stickstoff wurde dann ebenso wie der der getrockneten Kothprobe, die in der üblichen Weise vermischt und pulverisirt wurde, auf je ein Huhn und einen Tag berechnet.

In Tabelle V sind die Versuche angeführt, in welchen die Trocknung der auf Glasplatten ausgestrichenen Kothproben in einem Exsiccator bei 60° C. geschah. Aus der Schwefelsäure wurde dann der Ammoniak abdestillirt.

Der beobachtete N-Verlust beim Trocknen des Kothes war im Durchschnitt:

Beim Säugling	7,19 %
„ erwachsenen Menschen[1])	5,41 % und zwar
bei Fleischkost	7,19 %
bei gemischter Kost . . .	4,29 %
„ Hunde	12,64 %
„ Ochsen[2])	2,52 %
„ Hammel	0,42 %
„ Pferd	5,93 %
„ Schwein	2,88 %
„ Huhn	3,85 %
bei der Gans	4,69 %

1) Saltet (5) erwähnt in seiner Arbeit: Ueber die Bedeutung der essbaren Schwämme etc., dass er und Prof. Forster beim Trocknen von Menschenkoth einen N-Verlust von 2—15% fanden.

2) Kellner (l. c.) erhielt beim Ochsenkoth einen N-Verlust von 4,80—6,70%.

Natürlich muss bei Beurtheilung des N-Verlustes, welcher beim Trocknen der Excremente von Geflügel eintritt, berücksichtigt werden, dass dieser N-Verlust theilweise dadurch verursacht wird, dass sich der Harn, wie dies schon öfters nachgewiesen wurde, beim Trocknen bezw. Eindampfen theilweise zersetzt.

Aus den mitgetheilten Daten ist ersichtlich, dass der beim Trocknen der Fäces eintretende N-Verlust beim Menschen und bei fast allen untersuchten Thieren in den meisten Fällen so gross ist, dass derselbe zwecks genauer Feststellung des N-Umsatzes nicht vernachlässigt werden kann. Nur beim Hammelkoth trat in den meisten Versuchen in Uebereinstimmung mit Pfeiffer's (6) Angaben überhaupt kein Verlust auf; in einem Versuch zeigte sich allerdings ein Verlust von 1,88 % N (Tab. III). Ueber jene Umstände, welche auf die Grösse des N-Verlustes beim Trocknen des Kothes einen Einfluss ausüben, werde ich am Schlusse des II. Theiles dieser Arbeit zurückkommen.

Ergänzend möchte ich noch bemerken, dass es für den N-Verlust beim Trocknen, wenigstens beim Menschen- und Hundekoth, gleichgültig ist, ob das Trocknen im Vacum resp. bei 100—150 mm Luftdruck oder an der Luft geschieht. Das geht aus Tabelle VI hervor, aus welcher auch ersichtlich ist, dass bei diesen Vergleichen die zwei Proben je eines Versuches annähernd bis zum gleichen Trockensubstanzgehalt getrocknet wurden.

Bei den bisher besprochenen Versuchen wurde es als feststehend betrachtet, dass die mit Säurezusatz getrockneten Fäces (Tabelle III) denselben N-Gehalt besitzen wie die entsprechende Menge des frischen Kothes, und auf dieser Basis wurde auch die Differenz der N-Bestimmungen der mit und ohne Säure getrockneten Fäces als Gesammtstickstoffverlust beim Trocknen betrachtet. Um diesbezüglich vollständige Sicherheit zu erlangen, stellte ich mit Menschen-, Hunde-, Pferde- und Ochsenkoth einige vergleichende Versuche an, welche in Tabelle VII zusammengefasst sind. Die Versuchseinrichtung wurde derart getroffen, dass die in der Reibschale möglichst gleichmässig verriebene frische Kothmenge, aus welcher 3—4 N-Bestimmungen ausgeführt wurden, in drei Porzellanschalen vertheilt, gewogen und in der einen ohne, in den anderen zwei nach Zusatz von Schwefelsäure bezw. Weinsäure getrocknet wurde. In der gut pulverisirten lufttrockenen Substanz wurde nachher ebenfallls der N-Gehalt bestimmt und auf den N-Gehalt der frischen Fäces umgerechnet.

Tabelle VII.

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
Versuchs-Object	N-Gehalt der frischen Fäces nach den Einzelbestimmungen in %	N-Gehalt der frischen Fäces im Durchschnitt in %	N-Gehalt d. mit H_2SO_4 getrockneten Fäces in %	N-Gehalt d. mit Weinsäure getrockneten Fäces in %	N-Gehalt der ohne Säurezusatz getrockneten Fäces in %	N-Verlust beim Trocknen in %	$c-d$	$c-e$	$\frac{(c-d)\cdot 100}{c}$	$\frac{(c-e)\cdot 100}{c}$
Mensch I	1,629 1,665	1,647	1,605	—	1,553	5,71	0,042	—	2,55	—
Mensch III	1,267 1,322	1,295	1,237	—	1,184	8,57	0,058	—	4,48	—
Mensch III	1,538 1,520 1,591 1,553	1,550	1,525	1,541	1,476	4,74	0,025	0,009	1,61	0,51
Mensch III	1,422 1,471 1,474 1,511	1,465	1,462	1,467	1,292	11,81	0,003	0,002	—	—
Hund II	1,192 1,187 1,192	1,190	1,155	1,148	1,053	11,52	0,035	0,042	2,94	3,53
Hund II	0,977 1,036 1,010 0,995	1,004	0,980	0,967	0,907	9,72	0,024	0,037	2,39	3,68
Hund III	0,788 0,788 0,765 0,724	0,767	—	0,727	0,689	10,18	—	0,040	—	5,21
Pferd VII	0,508 0,514	0,511	0,508	0,512	0,492	3,79	0,003	-0,001	—	—
Pferd VII	[1]	0,481	0,461	—	0,423	4,01	0,020	—	4,16	—
Pferd VIII	0,562 0,565 0,572 0,558	0,564	0,557	0,561	0,545	3,37	0,007	0,003	—	—
Ochse V	0,265 0,275 0,270 0,271	0,270	0,258	0,251	0,234	13,29	0,012	0,019	4,44	7,04
Ochse VI	0,225 0,225 0,226 0,223	0,225	0,219	0,215	0,205	8,91	0,006	0,010	2,63	4,19

1) Innerhalb einer 10 tägigen Versuchsperiode wurden täglich 2—3, insgesammt 22 N-Bestimmungen ausgeführt, während ein aliquoter Theil der Fäces mit H_2SO_4 getrocknet wurde. Die Einzelbestimmungen waren die folgenden: 0,489—0,498, 0,478—0,484, 0,506 bis 0,476, 0,457—0,497—0,444, 0,483—0,500, 0,465—0,435, 0,508—0,540, 0,456—0,476, 0,476 bis 0,493—0,506, 0,451—0,486.

Wie aus Tabelle VII ersichtlich, erwies sich der N-Gehalt der mit Säurezusatz getrockneten Fäces in den meisten Fällen als etwas geringer als der N-Gehalt des frischen Kothes. Von den 12 ausgeführten Versuchen ergaben 9 Versuche ein positives Resultat, nach welchem der N-Gehalt der frischen Fäces um 1,61—4,48 % bezw. um 0.51—7,04 % des Gesammt-N grösser ist als der des mit Schwefel- bezw. Weinsäure getrockneten Kothes, und nur in drei Versuchen erwies sich der N-Gehalt des frischen und des mit Säure getrockneten Kothes als gleich. Der Unterschied ist, wenn auch nicht sehr gross, so immerhin grösser, als dass er als analytischer Fehler aus der nicht vollständigen Homogenität des Kothes erklärt werden könnte. Es geht also aus diesen Versuchen hervor, dass es durch Säuren nicht immer gelingt, N-Verlust beim Trocknen des Kothes sicher zu verhüten; man muss daher annehmen, dass nicht aller N beim Trocknen des Kothes als Ammoniak entweicht. Darüber, in welcher Form dieser N-Verlust vor sich geht, müssen noch eingehendere Untersuchungen angestellt werden.

Nach diesen Versuchen kann man sich bei Versuchen, bei welchen es auf die grösstmögliche Genauigkeit ankommt, nicht mit der Analyse des getrockneten, angesäuerten Kothes begnügen, sondern man muss den N-Gehalt in möglichst vielen Proben des frischen Kothes bestimmen.

II. Ueber die Bestimmung des Eiweissgehaltes der Fäces.

Soll die Verdaulichkeit der Eiweissstoffe der Nahrung berechnet werden, so wird der N der Nahrung und des Kothes mit 6,25 multiplicirt. Natürlich entspricht der so erhaltene Werth weder dem wirklichen Eiweissgehalt der Nahrung noch dem der Fäces, da in beiden Substanzen enthalten sind, die keine Eiweissstoffe sind. Durch die Stutzer'sche Methode sind wir in der Lage, die Eiweissstoffe der Futtermittel von den Nicht-Eiweissstoffen gesondert zu bestimmen. Diese Methode Stutzer's wurde von Barnstein (7) zweckmässig dahin abgeändert, dass zum Niederschlagen der reinen Eiweisskörper statt gefällten Kupferhydroxyds eine Kupfersulfat- und eine Natronlaugelösung verwendet wird. Die Ausführung der Barnstein'schen Methode ist die folgende:

1—2 g des Futtermittels werden mit 50 ccm destillirten Wassers aufgekocht, bezw. — bei stärkehaltigen Stoffen — 10 Minuten im

Wasserbad erhitzt, sodann mit 25 ccm einer Kupfersulfatlösung versetzt, welche pro 1 l 60 g krystallisirten Kupfersulfats enthält, darauf unter Umrühren 25 ccm einer Natronlauge von der Concentration 12,5 : 1000 hinzugegeben. Nach dem Absitzen wird die überstehende Flüssigkeit durch ein Filter abgegossen, der Niederschlag wiederholt mit Wasser decantirt, schliesslich auf das Filter gebracht und mit warmem Wasser so lange ausgewaschen, bis das Filtrat mit gelbem Blutlaugensalz oder Chlorbaryum keine Reaction mehr gibt. Der N-Gehalt des Niederschlages wird sodann nach der Kjeldahl'schen Methode bestimmt.

Es lag nahe, diese Methode auch auf Fäces anzuwenden. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass das Kupferhydroxyd nicht ausschliesslich Eiweissstoffe niederschlägt; jedenfalls aber wird viel „Nicht-Eiweiss" nicht gefällt, so dass der aus dem N des Niederschlages berechnete Eiweissgehalt dem wirklichen Werth jedenfalls näher liegt, also richtiger ist, als der aus dem Gesammtstickstoff des Kothes berechnete. Auf Anregung des Herrn Prof. Tangl benutzte ich die Methode Stutzer's bezw. Barnstein's zur Bestimmung des Eiweissgehaltes sowohl in Futtermitteln als auch in den getrockneten Fäces. Wird nun auf Grund dieses „Reineiweissgehaltes" der Fäces die Verdaulichkeit des „Reineiweisses" bestimmt, indem man aus letzterem den ersteren subtrahirt, so wird in den meisten Fällen ein ganz anderer, jedenfalls aber ein richtigerer Verdauungscoëfficient erhalten.

Das Ergebniss meiner Untersuchungen ist in den Tabellen VIII, IX und X enthalten, während in Tabellen XI und XII Daten angeführt sind, aus welchen das Verhältniss des Gesammtstickstoffs zum N des „Reineiweisses" in den Fäces ersichtlich ist.

(Siehe Tabelle VIII auf S. 607, Tabelle IX auf 608.)

Aus den Tabellen VII und VIII geht hervor, dass im Futter zwischen $N \times 6{,}25$ und „Reineiweiss" manchmal nur ganz geringe, oft aber sehr beträchtliche Unterschiede bestehen, was sich daraus erklärt, dass auch in Futtermitteln derselben Art dieses Verhältniss ein sehr wechselndes ist. So z. B. gibt es Heusorten, deren $N \times 6{,}25$-Gehalt fast ausschliesslich aus „Reinproteïn" besteht, während in anderen das „Nicht-Eiweiss" 10 % und mehr der Rohproteïnsubstanz beträgt. In den Fäces hingegen ist der Unterschied zwischen $N \times 6{,}25$ und „Reineiweiss" ziemlich constant, was sich auch in Tabelle XII widerspiegelt, aus welcher zu ersehen ist, dass

Tabelle VIII.

	Ochse I 2. Versuch S. Tabelle III		Ochse I 3. Versuch S. Tabelle III		Ochse I 4. Versuch S. Tabelle III		Ochse I 5. Versuch Versuchsdauer: 10 Tage. Mittl. Körpergew.: 594 kg. Tagesfutter: 5 kg Heu, 10 kg Besenhirse		Ochse I 6. Versuch Versuchsdauer: 10 Tage. Mittl. Körpergew.: 481 kg. Tagesfutter: 8 kg Heu		Ochse III 1. Versuch S. Tabelle III		Ochse IV 1. Versuch S. Tabelle III		Hammel II 1. Versuch S. Tabelle III	
	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g
In Futter aufgenommen .	936	866	1453	1222	1412	1305	1498	1387	711	630	591	459	580	450	69	61
Im Koth entleert. . . .	496	446	870	806	876	814	867	805	339	313	585	556	547	526	31	30
Resorbirt . .	440	420	583	416	536	491	631	582	372	317	6	—97	33	—76	38	31
In Procenten .	47,0	48,6	40,2	34,1	38,0	37,6	42,1	42,0	52,3	50,3	1,0	0	5,6	0	54,6	51,5

	Hammel V 1. Versuch S. Tabelle III		Hammel V 2. Versuch S. Tabelle III		Hammel VI 1. Versuch S. Tabelle III		Pferd I 1. Versuch S. Tabelle III		Pferd I 2. Versuch S. Tabelle III		Pferd VII 1. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittl. Körpergew.: 429 kg. Tagesfutter: 8 kg Heu		Pferd VII 2. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittl. Körpergew.: 423 kg. Tagesfutter: 9 kg Heu		Pferd VII 3. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittl. Körpergew.: 420 kg. Tagesfutter: 9 kg Heu	
	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g	N×6,25 g	„Reineiweiss" g
In Futter aufgenommen .	110	105	113	82	101	73	1069	953	777	709	853	665	809	669	1084	1037
Im Koth entleert. . . .	40	38	42	40	37	34	349	308	204	181	428	396	331	320	421	374
Resorbirt . .	70	67	71	42	64	39	720	645	573	528	425	269	478	349	663	663
In Procenten .	63,6	63,8	62,8	50,9	63,3	54,0	67,4	67,7	73,8	74,5	49,8	40,4	59,1	52,1	61,2	63,9

Tabelle IX.

	Pferd VII 4. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittleres Körpergew.: 422 kg. Tagesfutter: 7 kg Heu und 5 kg Hafer		Pferd VII 5. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittleres Körpergew.: 432 kg. Tagesfutter: 7 kg Heu		Pferd VII 6. Versuch S. Tabelle III		Pferd VIII 1. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittleres Körpergew.: 420 kg. Tagesfutter: 8 kg Heu		Pferd VIII 2. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittleres Körpergew.: 418 kg. Tagesfutter: 7 kg Heu und 5 kg Hafer		Pferd VIII 3. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittleres Körpergew.: 414 kg. Tagesfutter: 9 kg Heu		Pferd VIII 4. Versuch Versuchsdauer: 8 Tage. Mittleres Körpergew.: 427 kg. Tagesfutter: 7 kg Heu	
	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
Im Futter aufgenommen	1082	970	554	529	774	611	853	665	1195	1068	1084	1037	554	529
Im Koth entleert . . .	395	327	282	263	292	256	515	459	439	384	454	409	272	267
Resorbirt	687	643	272	266	482	355	338	206	756	684	630	628	282	262
In Procenten	63,5	66,2	49,1	50,3	62,3	58,1	39,6	31,0	63,3	64,0	58,1	60,6	50,9	49,5

	Pferd VIII 5. Versuch S. Tabelle III		Schwein III 1. Versuch S. Tabelle IV		Schwein III 2. Versuch S. Tabelle IV		Schwein III 3. Versuch S. Tabelle IV		Schwein IV 1. Versuch S. Tabelle IV		Schwein IV 2. Versuch S. Tabelle IV		Schwein IV 3. Versuch S. Tabelle IV	
	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"	N×6,25	„Reineiweiss"
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
Im Futter aufgenommen	893	683	214	201	324	306	326	307	190	182	273	257	327	308
Im Koth entleert . . .	302	265	81	75	160	149	321	213	88	82	98	87	164	152
Resorbirt	591	418	133	126	164	151	105	94	102	100	175	170	163	156
In Procenten	66,2	61,2	62,2	63,0	50,7	51,2	82,2	30,7	52,6	55,1	64,1	66,1	49,8	50,6

Tabelle X.

Versuchs-object	Es wurden resorbirt N × 6,25 in %	Es wurden resorbirt „Rein-eiweiss“ in %	Versuchs-object	Es wurden resorbirt N × 6,25 in %	Es wurden resorbirt „Rein-eiweiss“ in %
Ochse I	47,0	48,6	Pferd VII	61,2	63,9
	40,2	34,1		63,5	66,2
	38,0	37,6		49,1	50,3
	42,1	42,0		62,3	58,1
	52,3	50,3	Pferd VIII	39,6	31,0
Ochse III	1,0	0		63,3	64,0
Ochse IV	5,6	0		58,1	60,6
Hammel II	54,6	51,5		50,9	49,5
Hammel V	63,6	63,8		66,2	61,2
	62,8	50,9	Schwein III	62,2	63,0
Hammel VI	6,00	—		50,7	51,2
Pferd I	67,4	67,7		32,2	30,7
	73,8	74,5	Schwein IV	52,6	55,1
Pferd VII	49,8	40,4		64,1	66,1
	59,1	52,1		49,8	50,6

Tabelle XI.

Versuchs-object	Nummer des Ver-suchs	N × 6,25-Gehalt der frischen Fäces in %	„Rein-eiweiss“-Gehalt der frischen Fäces in %	Vom N sind enthalten im „Eiweiss“ in %	Vom N sind enthalten im Nicht-Eiweiss in %
Mensch I	1	11,67	8,04	68,91	31,09
	2	9,74	6,80	69,78	30,22
	3	9,09	7,17	78,94	21,06
	4	10,29	7,62	74,07	25,93
Mensch II	1	8,84	7,38	83,42	16,58
	2	9,52	7,34	77,06	22,94
	3	3,28	2,62	79,84	20,16
	4	9,28	7,68	82,81	17,19
Mensch III	1	10,45	7,89	75,54	24,46
	2	9,06	6,63	73,16	26,84
	3	8,09	5,80	71,70	28,29
	4	9,69	6,70	69,12	30,88
	5	9,16	6,03	65,82	34,18
Hund I	1	21,67	16,05	74,08	25,92
	2	16,19	9,65	59,63	40,37
Hund II	1	7,44	4,83	64,92	35,08
	2	5,67	4,12	72,73	27,27
Hund III	1	4,79	3,71	77,40	22,60

in den Fäces eines Pflanzenfressers das Verhältniss zwischen N × 6,25 und „Reineiweiss“ meistens ein ziemlich gleichbleibendes ist. In diesem Umstande liegt die Ursache, dass zwischen den Verdauungscoëfficienten des Rohproteïns (N × 6,25) und Reinproteïns, welche

Tabelle XII.

Versuchs-object	Nummer des Versuchs	N × 6,25-Gehalt der frischen Fäces %	„Reineiweiss"-Gehalt der frischen Fäces %	Vom N sind enthalten im „Eiweiss" %	„Nicht-Eiweiss" %
Ochse I	2	3,33	2,79	83,78	16,22
	3	4,05	3,75	92,59	7,41
	4	3,69	3,43	92,95	7,05
	5	3,46	3,21	92,77	7,23
	6	2,25	2,07	92,00	8,00
Hammel II	1	4,84	4,58	94,62	5,38
Hammel V	1	3,00	2 89	94,76	5,24
	2	5,31	5,04	94,94	5,06
Hammel VI	1	3,77	3,40	90,13	9,87
Pferd I	1	3,42	3,00	87,72	12,28
	2	2,70	2,39	88,52	11,48
Pferd VII	6	2,92	2,56	87,78	12,22
Pferd VIII	5	2,76	2,42	87,84	12,16
Schwein III	1	6,79	6,27	92,26	7,74
	2	7,92	7,40	93,51	6,49
	3	7,79	7,50	96,28	3,72
Schwein IV	1	7,17	6,70	93,47	6,53
	2	6,00	5,30	88,88	11,12
	3	8,10	7,50	92,50	7,50

Tabelle XIII.

Versuchs-Object	Zahl der Versuchsobjecte	Zahl der Versuche	Zahl der Versuchstage	Durchschnittswerthe des Kothes: N-Verlust beim Trocknen in % des Gesammt-N	vom gesammten N sind im Nicht-Eiweiss %	Wasser-Gehalt %
Mensch	3	13	13	5,41	23,06	84,63
Hund	3	5	5	12,64	30,25	64,34
Ochse	4	7	69	2,52	9,18	82,25
Schaf	4	5	41	0,42	6,38	58,28
Pferd	3	4	32	4,82[1])	12,03	71,28
Schwein	3	7	51	2,88	4,39	67,63

in Tabelle X zusammenfassend angeführt sind, oft nur ganz geringe, oft aber ganz erhebliche Unterschiede beobachtet werden, ohne dass diesbezüglich eine für alle Fälle gültige Regelmässigkeit festgestellt werden könnte. Bestehen die in der Nahrung enthaltenen N × 6,25-Stoffe grösstentheils aus „Reineiweiss", so wird dies auch bei den Fäces der Fall sein (siehe Tab. VIII, Hammel V, 1. Versuch, Tab. IX, Pferd VII, 5. Versuch, Pferd VIII, 4. Versuch, Schwein III,

1) Aus 6 Versuchen.

1. und 3. Versuch, Schwein IV, 2. und 3. Versuch); natürlich werden die Verdauungscoëfficienten in diesem Fall für „Roh-“ und „Reinproteïn“ fast ganz gleich ausfallen. Der Unterschied wird zwischen beiden Coëfficienten auch dann ganz gering sein, wenn die Differenz zwischen „Reinproteïn“ und „Rohproteïn“ im Futter und im Koth eine verhältnissmässig gleiche ist. (Siehe z. B. Tab. VIII, Ochse I, 2., 4. und 5. Versuch, Pferd I, 1. und 2. Versuch.) Die Verdauungscoëfficienten werden am meisten dann abweichen, wenn ein an N-haltigem „Nicht-Eiweiss“ reiches Futter, z. B. die viel Amidoverbindungen enthaltende Melasse, verfüttert wird, da in diesem Fall die im Futter aufgenommene Menge des „Reinproteïns“ bedeutend geringer ist, als die des Rohproteïns, während in den Fäces, wie schon erwähnt, das Verhältniss zwischen Rohproteïn und „Reineiweiss“ ziemlich constant bleibt. (Siehe Tab. VIII, Hammel V, 2. Versuch, und Hammel VI, 1. Versuch, Tab. IX, Pferd VII, 6. Versuch, und Pferd VIII, 5. Versuch.)

Ich möchte noch die Versuche an Ochse III und IV (Tab. VIII) hervorheben, in welchen nach unzulänglicher Eiweissfütterung die „Reinproteïn“-Menge im Koth einen viel grösseren Werth ergab als die ganze verfütterte „Reinproteïn“, was damit erklärt werden kann, dass im Darmtracte bekanntlich eiweissartige Substanzen oft in ganz beträchtlicher Menge abgesondert werden.

Aus dem Bisherigen geht also hervor, dass zwischen den Verdauungscoëfficienten des Rohproteïns (N $\times$ 6,25) und des „Reinproteïns“, hauptsächlich bei an N-haltigem „Nicht-Eiweiss“ reicher Nahrung, oft erhebliche Unterschiede bestehen. Hervorheben möchte ich noch ein Mal, dass ich wohl weiss, dass das auf diese Weise bestimmte „Reineiweiss“ durchaus nicht nur aus wirklichem Eiweiss besteht, und dass andererseits das „Reineiweiss“ des Kothes nicht nur die Reste des „Reineiweisses“ der Nahrung enthält, sondern, wie eben erwähnt, auch die in den Verdauungssäften secernirten sämmtlichen Eiweissstoffe, die dementsprechend beim „Reineiweiss“ einen relativ grösseren Fehler bedingen als beim Rohproteïn der Fäces. Trotz all' dem entsprechen die Coëfficienten des „Reinproteïns“ der wirklichen Verdaulichkeit der Eiweisskörper viel mehr als die Verdauungscoëfficienten des Rohproteïns. Es erscheint also angezeigt, statt der Verdaulichkeit des Rohproteïns die des „Reineiweisses“ zu bestimmen, was (mangels eines constanten Verhältnisses zwischen N $\times$ 6,25 und „Reineiweiss“) nur durch Bestimmung des „Reineiweiss“-Gehaltes der Nahrung und des Kothes erfolgen kann.

Die Bestimmung der Verdauungscoëfficienten von Roh- und „Reinproteïn" bietet auch Gelegenheit, sich über die Verdaulichkeit des verfütterten N-haltigen „Nicht-Eiweisses" zu orientiren.

Aus den in den Tabellen XI und XII angeführten Daten geht hervor, dass in den Fäces der Pflanzenfresser ein bedeutend grösserer Theil der N × 6,25-Substanz aus „Reineiweissstoffen" besteht als in jenen der Fleischfresser. Während das „Reineiweiss" des Kothes im Mittel

beim Ochsen . . 80,82 %
„ Schafe . . 93,62 %
„ Pferde . . 87,97 % und
„ Schweine . . 95,61 %

der gesammten N × 6,25-Substanz beträgt, erreicht es

beim Menschen . 76,94 %
„ Hunde . . 69,75 %

derselben.

Zu interessanten Schlussfolgerungen gelangen wir, wenn wir auf Grund der im Abschnitt I besprochenen Versuche den Stickstoffverlust beim Trocknen des Kothes mit der Menge des im Kothe enthaltenen N-haltigen „Nicht-Eiweisses" vergleichen, was in Tabelle XIII geschah. Es ergibt sich, dass der N-Verlust beim Trocknen des Kothes ein um so grösserer ist, je grösser die Menge des in den Fäces enthaltenen N-haltigen „Nicht-Eiweises" ist[1]), was ja leicht erklärlich ist, da doch der N-Verlust beim Trocknen eben durch Zersetzung der N-haltigen nicht eiweissartigen Stoffe verursacht wird, während die Eiweisskörper beim Trocknen einer solchen Zersetzung nicht unterliegen.

Ausser der Menge der Eiweisskörper dürfte auch der Wassergehalt der Fäces auf den beim Trocknen eintretenden N-Verlust einen Einfluss ausüben; diesbezüglich hebe ich das Ergebniss der Versuche am Schafkoth hervor, welcher den geringsten Wassergehalt besitzt und beim Trocknen einen kaum nennenswerthen N-Verlust erleidet; auch besitzt dieser Koth eine verhältnissmässig geringe Menge an N-haltigem „Nicht-Eiweiss". Inwiefern noch andere Umstände den N-Verlust beim Trocknen bezw. den Ammoniakgehalt der Fäces beeinflussen, kann aus den bisherigen Versuchen nicht gefolgert werden.

---

1) Der Verlust war besonders beim Hundekoth sehr gross.

Die Resultate meiner Arbeit fasse ich in Folgendem zusammen:

1. Beim Trocknen der Fäces entsteht meistens ein beträchtlicher N-Verlust, welcher bei Fleischfressern grösser ist als bei Pflanzenfressern.

2. Das Trocknen der Fäces mit Säurezusatz verhindert nicht immer vollständig den N-Verlust, so dass ganz genaue Resultate nur durch Bestimmung des N-Gehaltes in mehreren Proben der frischen Fäces erhalten werden.

3. Zur Bestimmung der Verdaulichkeit der Eiweisskörper ist es angezeigt, nicht nur das „Reineiweiss" der Nahrung, sondern auch des Kothes zu bestimmen.

4. Der N-Verlust beim Trocknen des Kothes hängt von dessen Gehalt an N-haltigen, nicht-eiweissartigen Substanzen ab. Wahrscheinlich hat auch der Wassergehalt der Fäces einen Einfluss darauf.

Literatur.

1) Kellner, Landw. Versuchsstat. Bd. 47 S. 288 und Bd. 50 S. 256.
2) Grouven, Bericht der Versuchsstation zu Salzmünde 1864 S. 436 und 566. (Citirt nach Kellner.)
3) Henneberg und Stohmann, Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer 1864 Heft 2 S. 365.
4) Grandeau, Leclerc und Ballacey, Annales de la science agronomique 9. Jahrg. t. 1 p. 69. 1892.
5) Saltet, Archiv für Hygiene 3. Jahrg. S. 450. 1885.
6) Pfeiffer, Zeitschr. für physiol. Chemie Bd. 11 S. 7. 1887.
7) Barnstein, Landw. Versuchsstat. Bd. 54 S. 327.

(Aus der kgl. ungar. thierphysiologischen Versuchsstation in Budapest.
Vorstand: Univ.-Prof. Dr. F. Tangl.)

Beitrag zur Kenntniss der Bildung und Zusammensetzung des Hühnerfettes.

Von

Dr. **A. Zaitschek**,
Chemiker an der Versuchsstation.

Gegen Ende des vergangenen Jahres wurden an unserer Versuchsstation Fütterungsversuche ausgeführt, welche den Zweck hatten, den Futterwerth der Milch bei Hühnern zu bestimmen. Im Zusammenhange mit diesen Versuchen befasste ich mich auf Anregung des Herrn Professor Tangl mit der Frage, ob der Einfluss der Milchfütterung auch in der Zusammensetzung des Hühnerfettes bemerkbar ist. Zu diesem Zwecke wurde ein junges, ganz mageres Huhn mit einem Gemenge von Milch und Mais, ein zweites ebensolches nur mit Mais gemästet. Um grössere Mengen verfüttern zu können, wurden die Hühner gestopft. Da ein vollkommen genaues, quantitatives Stopfen — namentlich des Mais-Milchgemenges — nicht ausführbar war, wurden wohl die Futterrationen täglich genau gewogen, vom Sammeln der Excremente haben wir aber abgesehen. Den Verlauf der Mästung zeigen folgende Daten:

Huhn I: Dauer der Mästung: vom 4. December 1902 bis 27. Januar 1903.

Futter: Im Durchschnitt täglich 118 g Mais.

Körpergewicht am Anfang der Mästung . . .	1204 g
„ „ Ende „ „ . . .	2070 „
Gewichtszunahme	866 g =

71,93 % des ursprünglichen Körpergewichtes.

Huhn II: Dauer der Mästung: vom 4. December 1902 bis 27. Januar 1903.

Futter: Im Durchschnitt täglich 100 g Mais und 290 ccm Milch.

Körpergewicht am Anfang der Mästung . . .	1112 g
„ „ Ende „ „ . . .	2600 „
Gewichtszunahme	1488 g =

133,81 % des ursprünglichen Körpergewichtes.

Am Ende der Mästung wurden die Thiere geschlachtet und secirt. Von jedem Huhn wurden die gesammten Weichtheile herauspräparirt, von den Knochen abgelöst, fein zerhackt, das Fett im Vacuumtrockenschrank ausgeschmolzen und filtrirt. Aus Huhn I wurden 450 g, aus Huhn II 975 g Fett erhalten. Schon im Aussehen zeigte das Fett der beiden Hühner Unterschiede. Die Farbe beider Fette war weiss mit einem Stich in's Gelbliche, das Fett des nur mit Mais gefütterten Huhnes I war jedoch im festen Zustande etwas dunkler wie das Fett von Huhn II; im geschmolzenen Zustande war ersteres citronengelb, letzteres lichtgelb; das Fett des mit Mais und Milch gefütterten Huhnes II war im halberstarrten Zustande weniger körnig als das Fett von Huhn I. Auch in der Farbe der abgeschiedenen Fettsäuren zeigten sich die entsprechenden Unterschiede insofern, als die Fettsäuren von Huhn I dunkelgelb, jene von Huhn II lichtgelb waren. Die ausführliche Analyse beider Fette ist in Tabelle I zusammengestellt, in welche zum Vergleich auch die über Hühnerfett vorhandenen literarischen Daten, ausserdem auch die entsprechenden Werthe für Mais- und Butterfett nach Benedikt[1]) aufgenommen sind.

(Siehe Tabelle I auf S. 616.)

Aus Tabelle I ist vor Allem ersichtlich, dass ein Unterschied im Fett der beiden Hühner besteht. Mit Ausnahme der Hehner'schen Zahl, der Jodzahl und der Refraction sind alle übrigen Werthe für das Fett des mit Milch und Mais gemästeten Huhnes II höher als die des Fettes von Huhn I, welches nur mit Mais gefüttert wurde. Da die übrigen Versuchsbedingungen bei beiden Hühnern die gleichen waren, so kann der in der Zusammensetzung der Fette bestehende Unterschied nur der Verschiedenheit des Futters, d. h. also der Verfütterung von Milch bezw. Milchfett, zugeschrieben werden. In dieser Annahme werden wir wesentlich bestärkt, wenn wir die für das Fett der Hühner I und II bestimmten Zahlen mit den Zahlen des Mais- bezw. Butterfettes vergleichen. Dieser Vergleich weist entschieden darauf hin, dass sich die Unterschiede in der Zusammensetzung der untersuchten Hühnerfette in derselben Richtung bewegen wie die entsprechenden Unterschiede des Mais- und Butterfettes. Am auffallendsten ist dieser Zusammenhang zwischen verfüttertem und erzeugtem Fett bei den

1) R. Benedikt, Analyse der Fette und Wachsarten. 1897.

Tabelle I.

	Maisfett	Butterfett nach Benedikt[1])	Fett von Huhn I, mit Mais gefüttert	Fett von Huhn II, mit Mais und Milch gefüttert	Hühnerfett nach Benedikt[1])
Specifisches Gewicht bei 15° C.	0,9215 - 10,9230	0,926 0,940	0,9120[2])	0,9158[2])	0,9241
Schmelzpunkt	Syrupdicht bei 18° C.	28 34,7° C.	36° C.	38,5° C.	33 40° C.
Erstarrungspunkt	10 - 20° C.	19 - 23° C.	17,4° C.	22° C.	
Schmelzpunkt der Fettsäuren	18 20° C.	38° C.	37° C.	39,5° C.	38 40° C.
Erstarrungspunkt der Fettsäuren	14 16° C.	35,8° C.	34,5° C.	35,5° C.	
Refraction bei 40° C. (Scalentheile vom Zeiss'schen Butterrefractometer)	65,5	40,5 47	52	50	
Verseifungszahl (Köttsdorfer'sche Zahl)	188,1—190,4	220 -245	214	216,8	193,5
Feste Fettsäuren (Hehner'sche Zahl)	94,7—95,7	87,5	95,3	94,8	
Jodzahl des Fettes	111,2—122	26- 38	70,6	57,6	58 77,2
Jodzahl der Fettsäuren	113—125	28- 31	54,4	45,4	64,6
Flüchtige Fettsäuren (Reichert-Meissl'sche Zahl)	0,66	25—32,8	0,88	0,88	2
Freie Fettsäuren auf Oelsäure berechnet	0,75	0,16—0,71	0,40	0,49	0,6

1) l. c. 2) Bei 30° C.

Jodzahlen; die beim Butterfett und beim Fett des Huhnes II sind wesentlich kleiner als beim Maisfett und beim Fett von Huhn I. Weniger in's Auge fallend, aber immerhin charakteristisch tritt dieser Parallelismus zwischen verfüttertem und erzeugtem Fett in den physikalischen Constanten und der Verseifungszahl der Fette auf; hingegen erwies sich die Menge der flüchtigen Fettsäuren in den erzeugten Fetten als gleich, worauf wir später noch zurückkehren.

Nach all' dem, was wir über Fettbildung wissen, dürfte die beschriebene Verschiedenheit des Fettes der beiden Hühner durch die Annahme erklärt werden, dass sich ein Theil des Butterfettes zusammen mit einem Theil des aus Kohlehydraten gebildeten Fettes abgelagert hatte.

Um die Menge des resorbirten Fettes bei den Versuchshühnern annähernd bestimmen zu können, theile ich in Tabelle II die Ergebnisse unserer an Hühnern angestellten Ausnutzungsversuche mit. Diese 8—10 tägigen Versuche wurden mit vier aus 7—10 Stück Hühnern bestehenden Gruppen ausgeführt, von denen zwei Gruppen mit Mais, zwei Gruppen mit Mais und Milch gefüttert wurden. Die zwecks der Fettuntersuchung gemästeteten Hühner I und II wurden — wie erwähnt — gestopft; die zum Ausnutzungsversuche verwendeten frassen hingegen ihr Futter von selbst. Sämmtliche Hühner gehörten derselben Rasse an. Der verfütterte Mais blieb in allen Versuchen derselbe; bei den mit Milch gefütterten (gestopften) Hühnern wurde stets Vollmilch benutzt. In Tabelle II ist gleichzeitig auch der N-Umsatz mitgetheilt.

(Siehe Tabelle II auf S. 618.)

Aus Tabelle II ist ersichtlich, dass das Mais- und Milchgemenge besser resorbirt wird als der für sich verfütterte Mais, was durch die ausgiebigere Resorption der Milch bedingt ist. Vom Maisfett wurden im Mittel beider Versuche 77,2 %, vom Butterfett 92,7 % resorbirt. Berechnen wir nun auf Grund dieser Mittelwerthe, wieviel Mais- bezw. Butterfett bei den Hühnern I und II annähernd resorbirt werden konnte, so erhalten wir folgende Daten:

Huhn I: Erhielt täglich in 118 g lufttrockenen Maises (Trockensubstanzgehalt 84,77 %, Fettgehalt 4,92 %) 5,81 g Fett, von welchem 4,49 g resorbirt wurden; während der ganzen 54 tägigen Mast wurden also 242,5 g des Maisfettes resorbirt.

Tabelle II.

Durchschnittswerthe pro Huhn und Tag.

	N g	Aetherextract g	Bemerkungen	N g	Aetherextract g	Bemerkungen
	I. **Versuch** vom 1.—10. November 1902.			III. **Versuch** vom 8.—16. December 1902.		
Im Mais aufgenommen	0,74	2,36	Futter:	1,46	4,68	Futter:
Im Koth entleert	0,74	0,47	40,7 g Mais (Trockensubstanz).	1,38	1,21	80,6 g Mais (Trockensubstanz).
Angesetzt resp. resorbirt	0	1,89	Gewichtszunahme:	0,08	3,47	Gewichtszunahme:
In %	0	80,1	+ 17 g.	5,8	74,2	+ 117,6 g.
	II. **Versuch** vom 1.—10. November 1902.			IV. **Versuch** vom 8.—16. December 1902.		
Im Mais aufgenommen	0,75	2,40		1,12	3,59	
In der Milch aufgenommen	0,42	2,04	Futter:	0,64	4,36	Futter:
Zusammen aufgenommen	1,17	4,44	40,8 g Mais (Trocken-	1,76	7,95	61,9 g Mais (Trocken-
Im Koth entleert	0,90	0,78	substanz)	1,28	0,69	substanz) und
Angesetzt resp. resorbirt	0,27	3,66	und 73 ccm Milch.	0,48	7,26	107 ccm Milch.
In %	23,1	82,4	Gewichtszunahme:	27,5	91,3	Gewichtszunahme:
Davon entfallen auf den Mais[1]	0	1,92	+ 98,4 g.	0,07	2,66	+ 135 g.
Davon entfallen auf die Milch	0,27	1,74		0,41	4,60	
In %	64,8	85,3		64,1	100,0	

1) Auf Grund der Versuche I resp. III berechnet.

Huhn II: Erhielt täglich in 100 g Mais 4,92 g Fett und in 290 ccm Milch (durchschnittlicher Fettgehalt 4,08 %) 11,82 g Fett. Vom Maisfett wurden täglich 3,80 g, vom Milchfett 9,57 g resorbirt, also während der ganzen 54 tägigen Mast 205,2 g Maisfett und 516,8 g Butterfett, d. i. zusammen 722,0 g Fett.

Es muss jedoch bemerkt werden, dass bei den gestopften Hühnern wahrscheinlich bedeutend weniger Fett resorbirt wurde, da die Ausnutzung bei gestopftem Geflügel — wenigstens nach unseren an Gänsen gemachten Erfahrungen — eine schlechtere ist als bei den Thieren, die das Futter ad libitum aufnehmen. Die Menge des resorbirten Milchfettes bleibt aber auch bei einer etwas schlechteren Ausnutzung noch immerhin recht beträchtlich, und von diesem resorbirten Milchfett muss nach unserer obigen Annahme ein Theil zusammen mit dem aus Kohlehydraten gebildeten Fett abgelagert worden sein.

Dieses Versuchsergebniss steht mit dem Resultate meiner mit Dr. Weiser veröffentlichten Arbeit[1]) über Gänsefett in scheinbarem Widerspruch. Bei diesen Versuchen wurde das Fett von vier Gänsen verglichen, von denen zwei mit Mais, zwei mit Besenhirse gefüttert wurden. Trotzdem nun das Maisfett und das Besenhirsefett eine verschiedene Zusammensetzung haben, konnten im erzeugten Gänsefett keine Unterschiede gefunden werden. Bei der Gans I bildeten sich nach den angestellten Ausnutzungsversuchen 510 g, bei Gans III 763 g Fett[2]); das resorbirte Fett betrug bei ersterer 197,9 g, bei letzterer 209 g. Dass sich trotz dieser verschieden zusammengesetzten resorbirten Fettmengen das erzeugte Gänsefett als identisch erwies, kann nur dadurch erklärt werden, dass sich bei dieser fettarmen und an Kohlehydraten reichen Nahrung vom resorbirten Fett jedenfalls nur ein geringer Theil unverändert ablagerte, so dass sich der unvergleichlich grösste Theil des erzeugten Fettes aus Kohlehydraten bildete. Bei den mit dem viel besser resorbirbaren Milchfett angestellten Versuchen ist die Einwirkung dieses Fettes auf die Zu-

1) Archiv für die gesammte Physiol. Bd. 93 S. 128.

2) Diese Gelegenheit benutze ich, um einen Fehler richtigzustellen, welcher sich in die Tabellen III und IV (S. 132—133) unserer citirten Arbeit einschlich. Das Decimalkomma muss nämlich in allen Zahlen dieser Tabellen und an jenen Stellen, wo auf diese Zahlen im Text Berufung geschieht, mit einer Stelle nach rechts verschoben werden. Die mit Mais gefütterte Gans I hat also in jenen Versuchen bei einer N-Retention von 19,8 g 510 g Fett, die mit Hirse gefütterte Gans III bei einer N-Retention von 8,1 g 763 g Fett angesetzt.

[illegible] was also darauf
[illegible] des erzeugten Fettes
[illegible] zusammengesetzter
[illegible] Menge und Qualität dieser
[illegible] wird.

[illegible] Versuche be-
[illegible] die den Einfluss des ver-
[illegible] Ausser
[illegible] Untersuchungen von
[illegible] Hansen sollen an
[illegible] Baumert und Fr. Falke[1])
[illegible] werden. Baumert und
[illegible] welche drei Monate
[illegible] mit entfettetem Rapsmehl
[illegible] und zwar in der ersten und letzten
[illegible] aber unter Beigabe
[illegible] Das Butterfett hat durch die
[illegible] Aenderung erfahren, welche sich stets
[illegible] die durch die charakteristischen Zahlen
[illegible] es sind also Butterfette erzeugt worden,
[illegible] künstliche Gemische von Butterfett
[illegible] Die Einwirkung der verfütterten
[illegible] hauptsächlich in der entsprechenden Aenderung der
[illegible] und der Jodzahl der Refraction und des Schmelz-
punktes, während die Menge der flüchtigen Fettsäuren keine charak-
teristischen Aenderungen erlitt. Rosenfeld[2]) gelangte durch Ver-
suche, welche er an verschiedenen Thieren, insbesondere an Gold-
fischen und Spiegelkarpfen, ausführte, zum Ergebniss, dass die
Specificität des Fettes der verschiedenen Thierarten auf der specifischen
Nahrung und dem Grade, in welchem die verschiedenen hoch-
schmelzenden Fette resorbirt werden, beruht. So erhielt er bei den
erwähnten Fischen einen Ansatz vom verfütterten Hammeltalg, bei
Thieren also, deren Temperatur höchstens 15° ist, den Ansatz eines
Fettes mit dem Schmelzpunkt von 4[illegible]°.

Aus den Daten der Tabelle I muss noch hervorgehoben werden,
dass sich die Menge der flüchtigen Fettsäuren (**Reichert-Meissl-**

---

1) Zeitschr. für Unters. der Nahr.- und Genussm. 1. Jahrg. (1898) S. 665.
2) Jahresber. f. Thierchemie Bd. 29 S. 70 und Bd. 30 S. 56.

sche Zahl) in beiden untersuchten Hühnerfetten als ganz gleich erwies, trotzdem gerade in dieser Hinsicht zwischen den beiden verfütterten Fetten der auffallendste Unterschied besteht, da das Butterfett ca. 40—50 Mal so viel flüchtige Fettsäuren enthält wie das Maisfett. Da die erzeugten Fette trotzdem eine gleiche und zwar sehr geringe Menge flüchtiger Fettsäuren enthalten, so muss es als erwiesen betrachtet werden, dass die flüchtigen Fettsäuren des Milchfettes nicht angesetzt werden. Dieses Ergebniss stimmt mit den Resultaten von Zuntz und Ussow[1]) überein. Durch abwechselnde Beigabe von Butter, Buttersäure, buttersaurem Natron und Tributyrin zum Futter suchten sie an einer Hündin eine der Kuhbutter ähnliche Butter zu erzeugen. Die Beigabe von Buttersäure in den verschiedenen Formen hatte jedoch auf den Gehalt der Hundebutter an flüchtigen Fettsäuren keinen Einfluss, was die Annahme rechtfertigt, dass auch bei der Kuh die aus dem Darm resorbirten flüchtigen Fettsäuren nicht in die Milch übergehen, trotzdem andererseits durch zahlreiche Untersuchungen, so z. B. durch jene von Winternitz[2]) und Caspari[3]), nachgewiesen ist, dass Körperfett in die Milch übergehen kann.

Das Resultat meiner Versuche kann daher folgendermaassen zusammengefasst werden:

Das Verfüttern von Vollmilch erzeugt im Huhn ein Fett, welches sich der Zusammensetzung des Butterfettes nähert, mit Ausnahme des Gehaltes an flüchtigen Fettsäuren, die nicht angesetzt werden.

Zum Schlusse will ich noch erwähnen, dass ich auch das Fleisch der Hühner I und II untersuchte. Da mir jedoch die Untersuchung des frischen Fleisches nicht möglich war, so beschränkte ich mich auf die Bestimmung des N-, P- und Aschegehaltes des getrockneten, dann gemahlenen und mit Petroleumäther[4]) extrahirten Fleischmehls. Es ergaben sich die folgenden, auf Trockensubstanz berechneten Daten:

---

1) Arch. f. Physiol. 1900 S. 382—384 und Zeitschr. für Unters. der Nahr.- und Genussmitt. 4. Jahrg. (1901) S. 126.

2) Deutsche medicin. Wochenschr. 1897 Nr. 30. Zeitschr. für physiol. Chemie 1898.

3) Archiv für Anatomie und Physiologie 1899.

4) Archiv für die gesammte Physiol. Bd. 95 S. 107: Glikin, Untersuchungen zur Methode der Fettbestimmung in thierischem Material.

	Huhn I	Huhn II
N . .	14,82 %	13,93 %
P . .	0,99 %2,26 P_2O_5	1,00 % = 2,28 % P_2O_5
Asche .	5,16 %	5,64 %

Der N-Gehalt ist, auf aschefreie Substanz berechnet, bei Huhn I 15,63 %, bei Huhn II 14,76 %.

Inwiefern diesen beobachteten, allerdings nicht sehr grossen Unterschieden eine Bedeutung zukommt, müssten erst weitere Untersuchungen und zwar des frischen Fleisches ergeben.

(Aus der kgl. ungar. thierphysiologischen Versuchsstation in Budapest.
Vorstand: Univ.-Prof. Dr. F. Tangl.)

Ueber das „Avenin".

Von

Dr. **St. Weiser,**
Chemiker an der Versuchsstation.

Im Jahre 1883 veröffentlichte Sanson[1]) eine kurze Mittheilung über einen wirksamen Bestandtheil des Hafers, der zur Gruppe der Alkaloide gehören soll und den er „Avenin" nannte. Aus seinen mit verschiedenen Hafersorten ausgeführten Versuchen zog er folgende Schlüsse:

Die Hülse des Hafers enthält eine in Alkohol leicht lösliche Substanz, welche die Eigenschaft besitzt, die motorischen Nervencentren zu erregen. Die genannte Substanz, deren Existenz von einigen Beobachtern zugegeben, von anderen geleugnet wird, ist nicht das Vanillin. Es ist dies eine N-haltige, den Alkaloiden angehörige Substanz von der Zusammensetzung $C_{56}H_{21}NO_{18}$. Das Avenin, so benannte Sanson diesen Körper, ist nicht krystallisirbar, sondern feinkörnig.

Alle kultivirten Haferarten enthalten das Avenin, doch in verschiedener Menge, welche quantitative Unterschiede hauptsächlich von der Bodenbeschaffenheit abhängen.

Die hellen Hafersorten sind an Avenin meistens ärmer als die dunklen. Doch sind auch diese Unterschiede von localem Charakter, da aus Schweden stammender dunkler und heller Hafer das Avenin fast in gleicher Menge enthielten, während zwischen zwei aus Russland bezogenen Proben der Unterschied ein weit grösserer war. Die Wirkung des Avenins auf das motorische Nervensystem des Pferdes tritt nur dann ein, wenn die Menge desselben wenigstens 0,9 % des lufttrocknen Hafers beträgt. Es kann nicht mit Bestimmtheit gesagt

---

1) Sanson, Compt. rend. t. 96 (I) p. 75—77. 1883.

werden, dass die erregende Wirkung des Hafers ausschliesslich von dessen Farbe abhängt in dem Sinne, dass gewissen weissen Sorten diese Eigenschaft zukommt, während gewisse dunkle Sorten sie nicht besitzen.

Das Quetschen und Schroten des Hafers vermindert seine erregende Eigenschaft bedeutend, aller Wahrscheinlichkeit nach aus dem Grunde, weil hierdurch die Menge des Avenins vermindert wird. Die Erregung ist viel schwächer und von geringerer Dauer. Nach Verfütterung von 1 kg Hafer hält die Wirkung auf die motorischen Nerven beiläufig eine Stunde an, dabei steigt sie bis zu einer gewissen Höhe an, fällt dann wieder langsam, um schliesslich vollkommen aufzuhören.

Diese Angaben wurden im Jahre [illegible] von Wrampelmeyer[1]) nachgeprüft, der abweichend von Sanson's Untersuchungen die Existenz des Avenins entschieden in Abrede stellt. Seit dieser Zeit stehen diese beiden entgegengesetzten Behauptungen einander gegenüber, ohne dass ein weiterer Versuch gemacht worden wäre, diese für die Kenntniss der Wirkung des Hafers so wichtige Frage zu entscheiden. Die einschlägige Fachliteratur behandelt dieselbe in einer Art, dass man über das Existiren oder Nichtvorhandensein des Avenins nicht in's Klare kommen kann.

So bemerkt Damman[2]) über das Avenin, dass für die Angaben Sanson's bisher keine Bestätigung erbracht worden ist. Pott[3]) äussert sich folgendermaassen:

„Ich will die Existenz des von Sanson Avenin genannten Körpers im Hafer keineswegs bestreiten, obgleich nicht einzusehen ist, wesshalb der gequetschte oder geschrotene Hafer weniger Avenin enthalten und desshalb weniger erregend wirken soll. Die wohlthätigen Wirkungen der heilen Haferkörner als Futtermittel beruhen nach meiner Ansicht vornehmlich auf mechanischen Anregungen, welche die spitzigen Haferspelzen auf die Wandungen des Verdauungscanals ausüben." In seiner landwirthschaftlichen Fütterungslehre schreibt Wolff[4]): „Ob und inwiefern dem Hafer wegen seines Gehaltes an einer das Nervensystem anregenden Substanz als Futter

1) Landw. Versuchsstation Bd. 30 (VI) S. 299.
2) Damman, Gesundheitspflege d. landw. Haussäugethiere S. 363.
3) Pott, Die landw. Futtermittel S. 402.
4) Wolff, Landw. Fütterungslehre S. 142.

für die Pferde eine gleichsam specifisch günstige Wirkung zuzuschreiben ist, lässt sich nicht mit Bestimmtheit entscheiden, und ebenso unsicher ist es, die in Folge von Fütterung von Haferschrot bei Kühen beobachtete Steigerung der Milchproduction auf dieselbe Ursache zurückzuführen.“

Die angeführten literarischen Angaben berechtigen zur Genüge, an der Existenz des Avenins zu zweifeln, um so mehr als der einzige Controlversuch von Wrampelmeyer gegen das Vorhandensein irgend eines Alkaloids im Hafer spricht. Auf Anregung meines Chefs, des Herrn Prof. F. Tangl, stellte ich es mir nun zur Aufgabe, diese Frage zu entscheiden, zu welchem Zwecke ich in erster Reihe die Versuche soweit möglich genau nach den Angaben von Sanson und Wrampelmeyer wiederholen sollte.

Bevor ich auf die nähere Besprechung derselben eingehe, sei noch angeführt, dass ich in dem Cataloge der Firma Merck vom Jahre 1902 auf der 44. Seite das Avenin (Alkaloid) unter den Präparaten verzeichnet fand. Ich wandte mich nun indirect an die Firma um Aufklärung über die Darstellung dieses Präparates, und bestellte zugleich einige Gramm davon. Die Firma, durch welche ich das Avenin von Merck's Fabrik beziehen wollte, erhielt von letzterer folgende Antwort:

„1. Das Avenin ist aus dem Samen von Avena nigra dargestellt.

2. und 3. Die Darstellungsmethode fand ich nirgends beschrieben. Die von mir neuerdings ausgeführten Untersuchungen haben in Uebereinstimmung mit Wrampelmeyer ergeben, dass im schwarzen Hafer so gut wie kein Alkaloid enthalten ist. Mein Präparat besteht aus einem gereinigten weingeistigen Extract ohne Alkaloidgehalt und beabsichtige ich, auf Grund dieser neuen Arbeit das Avenin (Alkaloid) aus meiner Liste zu streichen.“

Zu diesem Briefe bemerke ich nur das Eine, dass die Versuche der Firma Merck, auf welche sich der Brief beruft, meines Wissens nicht publicirt wurden.

Da aus der einzigen angegebenen Notiz von Sanson nicht zu ersehen ist, auf welchem Wege er das Avenin erhalten hat, was, da die Eigenschaften, ja selbst die chemische Formel desselben angegeben ist, sehr erwünscht gewesen wäre, wiederholte ich vorerst die Versuche von Wrampelmeyer.

Dabei überzeugte ich mich nun bald, dass auf dem von Wrampelmeyer eingeschlagenen Wege das Alkaloid zu finden

[illegible] ist. Die von Wrampelmeyer befolgte Arbeitsweise war folgende: [illegible] einer Mischung aus zwei Sorten, wurde kurze Zeit [illegible] gemischt, zerkleinert und in der Kälte mit ca. 4 Liter Alkohol extrahirt. Durch Dialyse versuchte er nun, das Alkaloid von den übrigen Extractivstoffen zu trennen. Die alkoholische Lösung wurde in kleinen Portionen in den Dialysator gebracht und nach mehrtägigem Stehen die [illegible] gewordene alkoholische Flüssigkeit abgehebert. Das Wasser im unteren Gefässe wurde nicht erneuert, sondern nur das verdunstete wieder ersetzt. Nachdem so allmählich der ganze Auszug den Dialysator passirt hatte, wurde die wässerige Lösung auf dem Wasserbade zur Trockne verdampft und der sehr geringe Rückstand sowohl mit Wasser als auch mit Alkohol wieder aufgenommen. In keiner von diesen Lösungen, von denen die alkoholische schwach gelblich gefärbt war, erhielt nun Wrampelmeyer mit den sogenannten Alkaloidreagentien eine Reaction. Auf Grund dieses negativen Ergebnisses stellt er [illegible] die Existenz des Avenins in Abrede.

In Anbetracht dessen, dass nach Sanson die dunklen Hafersorten an Avenin reicher sind, benutzte ich zu meinen Untersuchungen einen aus Obermähren stammenden dunklen, sogenannten tartarischen Hafer. Circa 3 kg eines aus der [illegible]jährigen Ernte stammenden Productes behandelte ich nach genügender Zerkleinerung 4—5 Tage lang mit 90 %igem Alkohol. Die grünlich-gelb gefärbten Auszüge unterwarf ich der Dialyse. In den Dialysator brachte ich in jedem Falle ca. 500 ccm der alkoholischen Lösung. In dem Maasse als durch die Dialysatorfläche das Wasser in die alkoholische Lösung eindrang, trübte sich diese, und bald schied sich das in dem Alkohol gelöste Haferfett und andere Extractstoffe in einer schleimigen Masse aus, welche die Dialysatorfläche vollkommen bedeckten, so dass eine weitere Dialyse mindestens sehr erschwert war. Ich überzeugte mich zu wiederholten Malen, dass im Dialysate selbst nach tagelangem Dialysiren nur ausserordentlich wenig gelöste Substanz vorhanden war. Es war also daran zu denken, dass Wrampelmeyer selbst in dem Falle, dass im Hafer ein Alkaloid vorhanden ist, es auf diese Weise nicht hätte finden können. Es wäre nämlich möglich, dass dasselbe eventuell in der alkoholischen Lösung zurück blieb. Erwähnt sei, dass ich die alkoholische Lösung in mehreren Dialysatoren 4—5 Tage lang stehen liess und das Wasser zweimal erneuerte. Da der diffundirte Theil, wie bei Wrampelmeyer, auch

bei mir ein negatives Resultat ergab, vereinigte ich die Rückstände der einzelnen Dialysatoren in einer grossen Porcellanschale und dampfte diese so lange unter Zusatz von Wasser ein, bis die letzte Spur von Alkohol vertrieben war. In dieser wässerigen Lösung, die auch suspendirte ausgeschiedene Theile enthielt, suchte ich nun das Alkaloid nach der gebräuchlichen Stas'schen Methode. Die wässerige Lösung wurde mit Salzsäure angesäuert und mit Aether so lange ausgeschüttelt, bis sich in demselben nichts mehr löste. Ich befreite so die Lösung von dem als Emulsion herumschwimmenden Fett und anderen Extractstoffen nach Möglichkeit, während das eventuell vorhandene Alkaloid als salzsaures Salz unlöslich in Aether in der wässerigen angesäuerten Lösung verbleiben musste. Diese machte ich nun schwach alkalisch, um das Alkaloid frei zu machen und schüttelte sie nun wiederholt mit Aether aus. Der ätherische Theil der Lösung wurde nun im Scheidetrichter von der alkalischen Lösung getrennt, durch Durchfliessen über ein trockenes Filter, vom mitgerissenen Wasser getrocknet und der Aether auf dem Wasserbade verjagt. Es verblieb nur ein minimaler weisser Rückstand in der Schale, der körnig aussah.

Ich löste denselben in verdünnter Schwefelsäure und führte mit der Lösung die charakteristischeste Alkaloidreaction, jene von Bouchardat, mit einer J.JK-Lösung aus.

Wenn auch die Reaction positiv ausgefallen ist, so zeigt sie doch eine verschwindend kleine Menge, eine Spur von Alkaloid an, jedenfalls bedeutend weniger, als die von Sanson angegebene Menge von 0,9 %, habe ich doch über 3 kg Hafer verarbeiten müssen, um diese Spur einer positiven Reaction zu erhalten. Eben desshalb musste an die Möglichkeit gedacht werden, dass diese Alkaloidreaction gebende Substanz gar nicht aus dem Hafer, sondern aus jenen fremden Körnern stammt, die ja in jedem Hafer enthalten sind.

Um nun auf diese Frage Antwort zu erhalten, wurde ca. 1 kg des Hafers auf der kgl. ungar. Samencontrolversuchsstation einer botanischen Analyse unterworfen. Dieselbe ergab, dass der zu meinen Versuchen benutzte Hafer 38erlei fremde Beimengungen enthielt. Unter diesen 38 Arten von fremden Körnern fanden sich zwei: Vicia sativa und Lolium temulentum, die erwiessener Maassen alkaloidhaltig sind.

Es musste also zur Entscheidung der Frage, ob in dem Hafer eine alkaloidartige Substanz enthalten sei, in erster Reihe zum Versuche ein

vollkommen reiner, von fremden Beimengungen gänzlich befreiter Hafer verwendet werden. Um einen solchen zu erhalten, liess ich nun ca. 5 kg Hafer durch Siebe von verschiedener Maschenweite annähernd von den fremden Beimengungen befreien. Aus diesem schon wenig fremde Körner enthaltenden Hafer wurde dann auf weissem Papier mittelst einer Pincette die ganze Menge Korn für Korn durchgesucht und so aus demselben jeder fremde Bestandtheil entfernt.

Diesen vollkommen reinen Hafer habe ich nun nach zwei Methoden auf Alkaloide geprüft.

I. Extraction mittelst Alkohol. Bei dieser Methode wurden 2 kg des reinen Hafers in grob gemahlenem Zustande 3—4 Tage mit 99 % Alkohol bei 60° C. extrahirt. Die grünlichgelb gefärbten Extracte wurden im Vacuum bei 30—35° C. eingedampft, wobei sich ein Theil des Fettes ausschied. Die genügend concentrirten alkoholischen Auszüge wurden nun in Anwesenheit des ausgeschiedenen Fettes mit salzsäurehaltigem Wasser versetzt und unter Erneuerung des sauren Wassers die Lösung im Vacuum so lange destillirt, bis dieselbe von Alkohol gänzlich befreit war. Diese saure Lösung wurde dann mit Aether öfter ausgeschüttelt, wobei das Fett und andere Extractstoffe in Lösung gingen. Nachdem die letzte Portion Aether aus der sauren Lösung nichts mehr aufnahm, wurde diese mit KOH schwach alkalisch gemacht, wodurch das eventuell vorhandene Alkaloid in Freiheit versetzt wurde und wieder mit Aether gründlich ausgeschüttelt. Nach Trennung der beiden Schichten wurde die ätherische Lösung auf dem Wasserbade verdampft und der sehr geringe Rückstand mit verdünnter Schwefelsäure behandelt. Ein Theil desselben blieb ungelöst und erwiess sich als Seife. Die filtrirte saure Lösung des Rückstandes versetzte ich nun mit der gebräuchlichen Bouchardat'schen J·JK-Lösung und erhielt keinen Niederschlag.

II. Extraction mit verdünnter Schwefelsäure. Hierbei behandelte ich 2 kg grobgemahlenen reinen Hafer 12 Stunden lang mit kalter verdünnter Schwefelsäure (20 g H_2SO_4 auf 1 Liter Wasser), versetzte die filtrirte Lösung mit Kalkmilch bis zur alkalischen Reaction, dampfte bis zur Trockne ein und extrahirte den ganzen Rückstand in kleinen Portionen mit 85 %igem Alkohol am Rückflusskühler mehrere Stunden. Die alkalische Lösung wurde heiss filtrirt und auf dem Wasserbade zur Trockne eingedampft,

wobei eine grössere Menge eines röthlichen Rückstandes zurückblieb. Diesen liess ich nun mit ein Viertel normaler Schwefelsäure in der Kälte 2½ Stunden stehen, filtrirte und führte mit dem Filtrate sämmtliche Alkaloidreactionen aus. Alle waren positiv. Als ich aber mit der sauren Lösung die Biuretreaction ausführte, gab sie auch dieselbe in sehr starkem Maasse. Es war also klar, dass die Alkaloidreagenzien, die ja, wie das Platinchlorid, J·JK-Lösung, Lösung von $HgCl_2$ in JJK, Phosphorwolframsäure, Pikrinsäure, alle auch Eiweissreagense sind, mit dem in der Schwefelsäurelösung enthaltenen Eiweiss die Reactionen geben konnten.

Um nun das Eiweiss von dem eventuell vorhandenen Alkaloid zu trennen, machte ich die schwefelsaure Lösung schwach alkalisch und schüttelte die Lösung mit Aether aus, um das Alkaloid in Lösung zu bringen. Die ätherische Lösung gab nach dem Eindampfen einen minimalen Rückstand, dessen saure wässerige Lösung mit J·JK-Lösung keine Fällung ergab[1]).

Nach alldem glaube ich, mit Bestimmtheit behaupten zu können, dass der Hafer kein Alkaloid enthält. Meine Untersuchungen führten zu demselben Ergebniss wie die von Wrampelmayer und stehen ebenso wie diese im Widerspruch zu den Angaben von Sanson, der aller Wahrscheinlichkeit nach Eiweiss oder ein Eiweissgemenge in Händen hatte.

(Auch finden wir das Avenin im Katalog der Firma Merck vom Jahre 1903 schon unter dem Namen „Avenin [Legumin]“.)

Wenn also der Hafer thatsächlich eine besonders anregende Wirkung bei Pferden ausübt, was ja noch gar nicht bewiesen ist, so ist dies jedenfalls nicht durch ein Alkaloid bedingt.

Berücksichtigt man, dass nach Guareschi[2]) das Lolium temulentum und der Hafer die einzigen Gramineen sind, welche angeblich ein Alkaloid enthalten, und dass die im ersteren enthaltenen Alkaloide, das Loliin und Temulentin, höchstwahrscheinlich nur pathologische Producte sind, welche aus den Eiweisskörpern der Aleuronschicht des Kornes unter Einwirkung eines Pilzes[3]) entstehen, wäre der

---

1) Um die Verlässlichkeit der Bouchardat'schen Reaction zu prüfen, bereitete ich eine verdünnte Codeïnlösung, von der ein Theil, der 0,5 mg Codeïn enthielt, mit J·JK-Lösung einen starken Niederschlag gab.

2) Einführung in das Studium der Alkaloide S. 463.

3) Vogel, Nahrungs- und Genussmittel S. 36.

Hafer die einzige alkaloidhaltige Graminee gewesen. Nachdem meine Untersuchungen die Haltlosigkeit der Sanson'schen Arbeiten bewiesen haben, gäbe es also überhaupt keine alkaloidhaltige Graminee.

Zusammenfassung:

1. Das Sanson'sche „Avenin“ existirt nicht.
2. Der Hafer enthält überhaupt kein Alkaloid.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.



ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

ACHTUNDNEUNZIGSTER BAND.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT 1 TAFEL UND 6 TEXTFIGUREN.

BONN, 1903.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Ausgegeben am 29. Juli 1903.

Preis: im Abonnement Mk. 5.80. einzeln Mk. 7.20.

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Sonderabzüge gratis.

Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

Herrn Professor Dr. E. Pflüger,
Bonn, **Nussallee 172.**

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.



ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

ACHTUNDNEUNZIGSTER BAND.

DRITTES UND VIERTES HEFT.

MIT 2 TAFELN UND 21 TEXTFIGUREN.



BONN, 1903.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Ausgegeben am 8. August 1903.

Preis: im Abonnement Mk. 4.60, einzeln Mk. 6.—.

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Sonderabzüge gratis.

Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

Herrn Professor Dr. E. Pflüger,

Bonn, **Nussallee 172.**




ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

ACHTUNDNEUNZIGSTER BAND.

NEUNTES UND ZEHNTES HEFT.

MIT 6 TAFELN.



BONN, 1903.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.




Ausgegeben am 5. September 1903.

Preis: im Abonnement Mk. 3.40, einzeln Mk. 4.50.

Inhalt.

Seite
